

核桃举肢蛾田间羽化节律与交配行为*

南小宁^{1**} 王英宏² 张力元¹ 唐光辉^{1***}

(1. 西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100; 2. 洛南县核桃研究所, 洛南 726100)

摘要 【目的】核桃举肢蛾 *Atrijuglans hetaohei* Yang 是核桃重要的蛀果害虫, 通过明确核桃举肢蛾野外田间的羽化节律和交配行为, 为核桃举肢蛾的性信息素研究提供基础。【方法】本研究在田间条件下观察了核桃举肢蛾的羽化节律和交配行为等生殖活动规律。【结果】核桃举肢蛾需要历时 45~60 min 完成羽化行为, 成虫羽化高峰期集中在 5 月下旬至 6 月上旬, 具有明显的昼夜节律, 上午 10:00—13:00 为羽化高峰期, 高峰期的羽化数占整日羽化量的 73.99%。雌雄虫比率接近 1:1, 其中羽化前期, 雄虫羽化量比雌虫多 8.67%, 降雨降温天气条件可影响其羽化进程。成虫上午、中午和夜晚静伏不动, 下午 16:00 至傍晚 19:30 成虫活跃, 频繁爬行、飞翔。在此期间, 观察到雌虫出现求偶召唤状态及交配行为。雌虫分散产卵, 平均产卵量为 22.6 粒。【结论】本研究揭示了核桃举肢蛾野外田间的羽化节律和成虫生殖活动行为, 雌虫出现求偶、交配行为的时间、状态与环境条件。

关键词 核桃举肢蛾, 羽化节律, 交配行为, 田间观察

The emergence rhythm and copulation behavior of *Atrijuglans hetaohei* Yang (Lepidoptera: Oecophoridae)

NAN Xiao-Ning^{1**} WANG Ying-Hong² ZHANG Li-Yuan¹ TANG Guang-Hui^{1***}

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. Walnut Research Institution of Luonan County, Luonan 726100, China)

Abstract [Objectives] *Atrijuglans hetaohei* Yang is a major pest of walnuts, seriously affecting both the yield and commercial value of walnut crops. This study aims to provide a reference for further research on the sex pheromones of *A. hetaohei* by determining adult emergence rhythm and copulation behavior of this species in field. [Methods] Emergence rhythm, mating behavior and other reproductive activities of *A. hetaohei* were observed under field conditions. [Results] Adult *A. hetaohei* took 45 to 60 minutes to emerge. Yearly emergence peaks of *A. hetaohei* populations occurred from the last ten days of May to the first ten days of June, and had an obvious diel rhythm; adult emergence peaking between 10:00 and 13:00 with 73.99% of adults emerging during this period. Though the final sex ratio of adults was nearly 1:1, there were 8.67% more males than females at the beginning of eclosion. The emergence process was influenced by rainfall and low temperature. Generally, adults were relatively sedentary, but crawled and flew more frequently between 16:30 and 19:30. Females were observed engaging in courtship and mating behavior during this period. Female adults laid an average of 22.6 eggs which were dispersed rather than laid in a single location. [Conclusion] This study provides preliminarily data on the eclosion and reproductive behavior of adult *A. hetaohei* under field conditions, detailing the time, state and environmental conditions when female adults engage in courtship and mating.

Key words *Atrijuglans hetaohei*, emergence rhythm, courtship behavior, field observation

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金项目 (31270690)

**第一作者 First author, E-mail: 358727493@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: huitang621@126.com

收稿日期 Received: 2016-10-31, 接受日期 Accepted: 2017-01-06

核桃举肢蛾 *Atrijuglans hetaohei* Yang 隶属于鳞翅目 (Lepidoptera) 织蛾科 (Oecophoridae) 黑展足蛾属 (*Atrijuglans*) (李后魂, 2012; Wang *et al.*, 2016)。核桃举肢蛾是影响我国核桃产业健康发展的重要蛀果害虫。在我国陕西、山西、河南、河北、甘肃、四川、山东、北京等核桃产区普遍发生。核桃举肢蛾以幼虫蛀食核桃青皮乃至果仁, 受害果逐渐变黑而内陷、脱落, 危害严重时会造成核桃绝收 (田敏爵等, 2010)。面对核桃举肢蛾的危害, 我国自 20 世纪 50 年代起便陆续开展了对其生物学及防治技术的研究 (金骥和卢友三, 1954; 王兴旺等, 2007)。

国内学者已报道了核桃举肢蛾幼虫取食危害、发育进度、发生世代、成虫室内羽化等行为规律 (宋继学和李东鸿, 1990; 王瑞等, 1990; 光志琼, 2011)。羽化是昆虫进入成虫期所经历的重要生长阶段, 研究表明核桃举肢蛾在室内条件下化蛹盛期在 5 月下旬, 羽化盛期在 5 月下旬到 6 月上旬。1 日之内成虫羽化率最高的时间在中午 (12:00—14:00), 而早、晚的羽化率均较低 (王瑞等, 1990)。田间调查表明核桃举肢蛾的发生规律及其发生高峰期与环境温湿度关系密切, 在山西省左权县 6 月中旬当空气湿度达到 60% 以上时, 核桃举肢蛾成虫即会出现, 且发生时期相对集中, 每年成虫发生期出现的时间早晚随空气湿度的变化提早或推迟 (刘芳洁, 2011)。对于大多数昆虫而言, 当进入交配期后, 通常是雌虫在特定的时间释放雌性信息素以引诱雄性。室内饲养条件下核桃举肢蛾在羽化后 2~4 d 傍晚 18:00—20:00 时出现性行为活跃现象, 主要表现为腹部末端出现有节律的抽动 (张涛, 2012)。核桃举肢蛾雌虫虽然室内饲养条件下出现腹部末端有节律的抽动的性兴奋前期表现症状, 但无明显的伸出腹部末端, 露出产卵器与性腺体, 释放性信息素物质, 吸引、召唤雄虫的现象。在此基础上室内提取分离鉴定核桃举肢蛾性信息素的工作虽然取得了一定进展, 但未能鉴定出主要性信息素成分 (郝兴宇等, 2007; 2008; 张涛, 2012, 阴文华, 2014)。所以有必要对其在野外田间的羽化节律和成虫求偶、交配等生殖活动行

为进行深入观察, 为该虫的监测预警和综合治理技术开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

2014—2016 年期间, 每年 8 月下旬收集带有核桃举肢蛾幼虫的虫果, 放于西北农林科技大学山阳县核桃实验站示范园 (109.88°E, 33.53°N) 地表, 核桃举肢蛾幼虫以老熟幼虫于 9 月上旬入土结茧越冬。于第 2 年 4 月中旬从土壤中筛取虫茧, 放于盛有 10 cm 厚土壤的塑料框中 (40 cm × 60 cm × 30 cm), 塑料框上部用纱网罩住, 定期浇水保持土壤湿度。

4 月中旬至 6 月中旬, 在示范园内林间搭建简易的田间养虫室, 用 4 m × 4 m × 4 m 的纱网罩住一棵树高 3.5 m、树冠直径 3 m 已结果的核桃树, 纱网的四周用竹竿固定, 纱网上方搭上遮阳网, 共搭建两个。将盛有虫茧的塑料框放于纱网内, 自然温度、光照条件下培养, 待其成虫羽化用于试验。

1.2 核桃举肢蛾羽化节律及行为观察

1.2.1 羽化节律观察 试验观察期间, 从第一头成虫羽化后, 每天按时转移出羽化的核桃举肢蛾成虫并鉴别雌雄, 分别统计记录羽化的雌雄虫数、羽化日动态数量。羽化过程连续观察直至不再有蛹羽化为止。在羽化高峰期, 连续 5 d, 每天从 7:00 至 18:00 每隔 1 h 观察记录一次羽化情况, 按时转移出羽化的成虫, 记录羽化的时辰节律。

1.2.2 羽化行为观察 于成虫羽化初期, 连续 5 d 详细观察记录不同羽化时段 30 头成虫的羽化全过程。

1.3 核桃举肢蛾求偶、交配行为观察

1.3.1 求偶行为观察 在林间简易纱网养虫室内核桃树的四周放置多个 0.6 m × 0.6 m × 0.6 m 养虫笼, 并在养虫笼中放置带果实的新鲜核桃树枝叶, 悬挂两个含 10% 蜂蜜水的棉球。在简易纱网田间养虫室核桃树上也悬挂多个含 10% 蜂蜜水的棉球。将羽化的成虫放入养虫笼或简易田间

养虫室内, 观察雌雄成虫各 60 头, 记录其不同日龄的求偶时间和行为。

1.3.2 交配行为观察 观察 30 对位于简易纱网养虫室和养虫笼内核桃举肢蛾的交配行为, 记录观察到的交配过程、姿态变化和每对成虫交尾开始时间与结束时间。将初次交配后的雌虫放入养虫笼内、再放入已交配的或未交配过的雄虫, 观察雌虫是否会发生再次交配并记录交配次数。

1.4 成虫产卵习性观察

将交配后的 20 对雌雄成虫放置于带有果实的新鲜核桃树枝叶和 10% 蜂蜜水的养虫笼内, 每个养虫笼放 1 对雌雄成虫。观察雌虫产卵习性, 解剖镜下观察卵的形态, 统计产卵数量。

2 结果与分析

2.1 羽化时辰节律

核桃举肢蛾成虫的羽化集中在白天, 傍晚及

夜间无羽化现象。统计表明核桃举肢蛾成虫羽化时间为一天中的 8:00—17:00, 其中上午 10:00—13:00 为羽化高峰期, 高峰期的羽化数量占整日羽化量的 73.99%, 雌雄虫羽化时辰节律无明显差异 (图 1)。

2.2 羽化日动态变化

田间观察表明核桃举肢蛾羽化开始于每年 5 月上旬, 5 月下旬至 6 月上旬为羽化盛期, 羽化期历时约 30~40 d, 羽化高峰期出现在 5 月底至 6 月初 (图 2)。虫茧的总羽化率为 31.95%, 其中 2015 年虫茧羽化率为 26.80%, 2016 年羽化率为 32.75%。2015 年羽化高峰时间出现在 2015 年 5 月 27 至 28 日, 两天共羽化成虫 76 头, 占当年羽化总量的 18.81%, 2016 年羽化高峰时间比 2015 年推迟 4 d, 出现在 2016 年 5 月 31 至 6 月 1 日, 两天共羽化成虫 77 头, 占当年羽化总量的 24.43%。

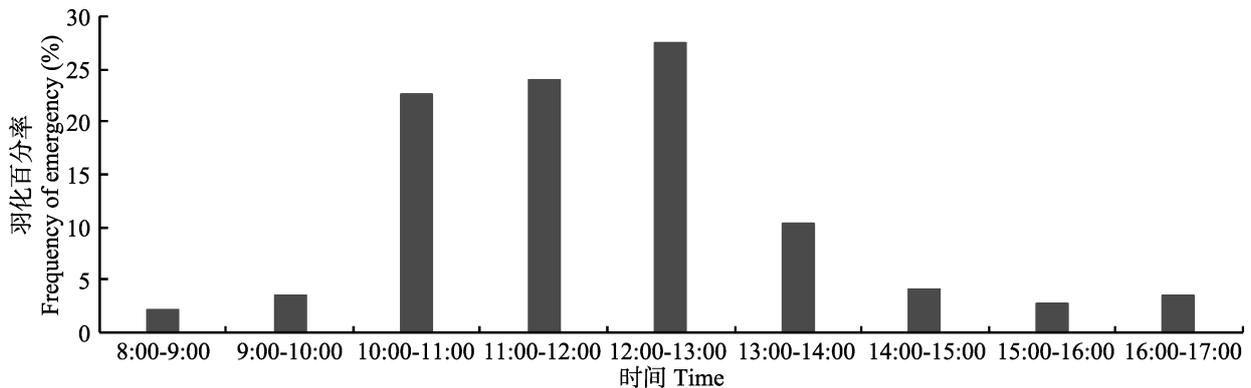


图 1 核桃举肢蛾成虫羽化节律
Fig. 1 Eclosion rhythm of *Atrijuglans hetaohei*

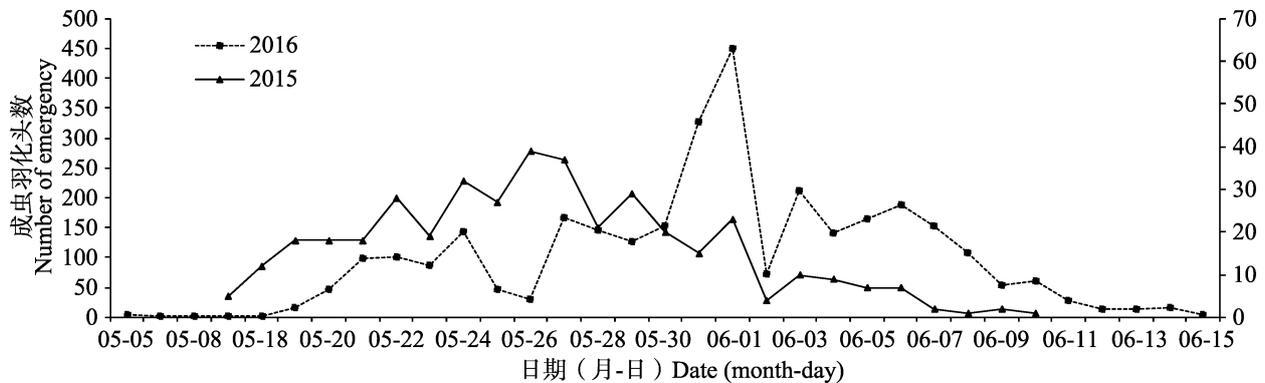


图 2 核桃举肢蛾羽化日动态变化
Fig. 2 The emergence dynamic change of *Atrijuglans hetaohei*

2.3 雌雄比例与羽化时间差异

2015 年共羽化出成虫 404 头,其中雌虫 185 头,雄虫 219 头, $\text{♂}:\text{♀}=1:1.1838$ 。2016 年共羽化出成虫 3 180 头,其中雌虫 1 591 头,雄虫 1 589 头, $\text{♂}:\text{♀}=1:0.9987$ 。从图 3、图 4 可看出在羽化前期雄虫的羽化量略高于雌虫。如 2016 年在羽化高峰期 5 月 30 日之前,雄虫羽化总数为 657 头,占羽化雄虫总数的 41.35%,雌虫羽化总数为 520 头,占羽化雌虫总数的 32.68%,雄虫前期羽化量比雌虫多 8.67%。

2.4 羽化行为观察

核桃举肢蛾羽化时,成虫头部从虫茧缝合线处最先伸出,扭动身体,直至整个虫体从茧壳中脱出。刚羽化的成虫静伏于土壤表面,体色为浅灰褐色,双翅柔软,稍弯曲,紧贴于身体背部,触角与身体平行贴于身体两侧。在土壤表面静伏

8~12 min 后,缓慢舒展双翅,双翅向上竖起与身体垂直。5~10 min 后,双翅放下,先是左右翅平行摆放,0.5~1 min 后左右翅交叉覆盖于腹部表面,此时后足与前、中足状态一致,均向下着地用于支撑身体。接着 5~10 min 后将后足举起,同时触角向前向上舒展开,继续静伏在土壤表面。大约休憩 30~45 min,休憩期间间隔一段时间在土壤表面爬行 30 s 左右,爬行 1~2 次,最后爬行、跳跃、飞离。完成整个羽化行为需要历时 45~60 min,羽化完成后,翅表面光泽,翅前缘部分颜色变为深褐色,翅末端为深黑色,后足上举于身体两侧。

2.5 求偶行为观察

在自然条件下,傍晚 16:30—19:30,举肢蛾成虫开始频繁爬行、飞行,其求偶和交配行为也发生在该时间段,核桃举肢蛾求偶及交配行为集中在活动高峰期(17:30—19:00)。成虫其他时间

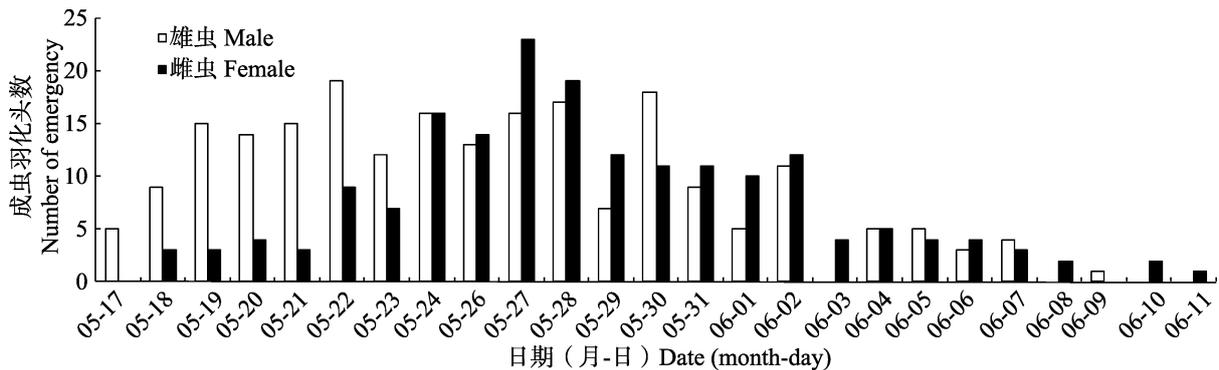


图 3 核桃举肢蛾雌雄成虫 2015 年羽化动态

Fig. 3 The daily emergence rhythm of female and male adults *Atrijuglans hetaohei* in 2015

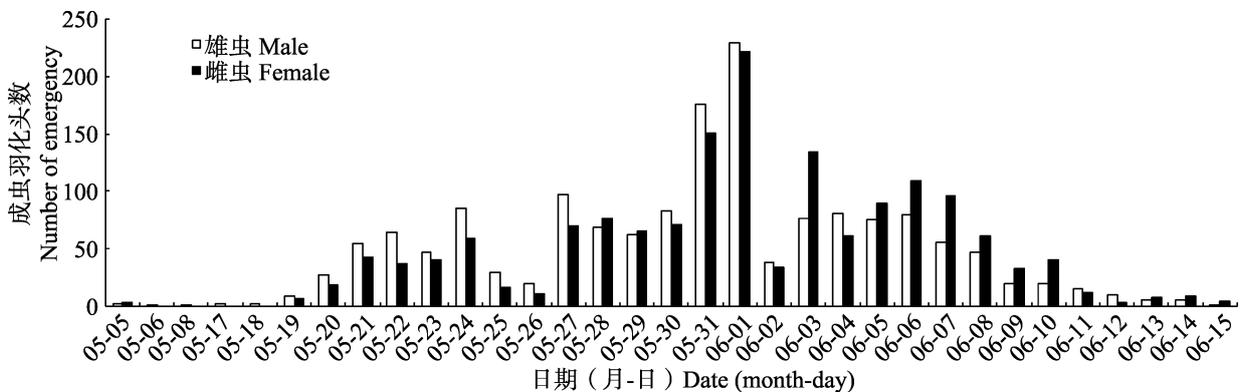


图 4 核桃举肢蛾雌雄成虫 2016 年羽化动态

Fig. 4 The daily emergence rhythm of female and male adults *Atrijuglans hetaohei* in 2016

常藏匿于核桃树冠中下部叶背面阴凉处及周围其他作物叶背和杂草丛中,受到惊吓或偶然情况下会进行短距离飞行以寻找新的潜藏地点。当进行求偶时,雌雄成虫活跃,来回爬动或短距离飞行。爬动时触角向前摆动,后足呈划桨式摆动,用于辅助爬行及支撑身体平衡。静止时可见腹部末端出现有节律的抽动,抽动频率约 0.8~1.2 s 每次,连续抽动 15~30 次后,静止 0.5~4 min 后再次抽动,此过程可持续 20~40 min。然后雌虫经过 0.5~2 min 短距离间歇飞行后,静止于叶背面,雌虫双翅微向身体后上方展开,腹部末端朝下弯曲伸出淡黄色的产卵器及性腺体,吸引、召唤雄虫,此求偶状态可持续 3~15 min。雄虫求偶状态则主要表现为腹部末端向下弯曲,可频繁伸出味刷和抱握器,雄虫静止时间短,爬行、飞翔活动频繁。

2.6 交配行为观察

田间养虫笼内观察发现,雄虫的性成熟先于雌虫,少数雄虫羽化当天下午就有伸出味刷和抱握器的行为。羽化 2 d 后会主动追逐雌虫,爬行过程中遇到雌虫主动伸出抱握器,钩住雌虫尾部。雌虫会拖着雄虫爬行一段距离,雌雄虫呈头部朝向两端尾部相连的“一”字型,如果雌虫不剧烈反抗、扭曲身体,便可成功交配。0.5~2 min 后,雌雄虫会停止爬行,雌雄虫调整身体姿态,雄虫腹部发生一定的扭曲,交配姿势从“一”字型变为头对头、尾对尾的“II”型。交配时间可持续 60~90 min。

处于性兴奋求偶状态的雌虫主要停留在树冠中下部叶背面,露出腹部末端淡黄色的产卵器及性腺体,等待雄虫的到来,当雄虫出现时,雄虫会快速伸出抱握器,钩住雌虫尾部,进行交配。交配时雌、雄虫均静止不动,此时如果人为将正在交配的雌雄虫转移到新的环境时并不会导致交配结束。交配行为结束后,雌、雄蛾才会分开。

雄虫羽化后 2 d 便有交配现象。羽化后 3~4 d,雄虫表现更加兴奋,可频繁伸出味刷和抱握器,追逐雌虫。雌虫羽化后 2 d 时,主要表现为频繁爬行,腹部末端出现有节律的抽动,但很

少有产卵器伸出现象,羽化后 3~6 d 时,有主动伸出产卵器求偶交配行为。举肢蛾雌雄虫存在多次交配现象,雌虫有进行 2 次、3 次交配的行为,并且刚产完卵后的雌虫即可再次交配。

2.7 产卵行为、产卵量

核桃举肢蛾雌虫交配后次日下午 16:00—19:00 时便有产卵行为。产卵前,雌虫会不断地在果面上爬行,其腹部末端向下弯曲,不断伸出产卵器探测、寻觅合适的产卵地点,常将卵产于果柄、两果果面交界和花萼残基缝隙处。产卵时雌虫静止不动,卵多为单粒散产,通过对 20 头雌虫产量情况的统计,每雌产卵量 8 至 37 粒不等,平均产卵量 22.6 粒。卵粒长椭圆形,长度 0.6~0.8 mm,直径 0.4 mm,卵白色,卵壳表面具规则的网格状凸起纹路。雌虫产卵时间可持续一周左右,每日产卵量不一,单日最大产卵量可达 10 粒。如产卵量最多的雌蛾产卵行为表现为交配后 1 d 产卵量为 10 粒,4 d 时为 14 粒,7 d 时为 34 粒,8 d 时为 37 粒。说明卵在雌虫体内发育时期不一致。另外,未发生交配的雌虫也可以产卵,其产卵方式与完成交配的雌虫一样,但所产的卵的颜色较浅。

3 讨论

环境因子对昆虫的羽化具有一定的影响,环境温度、湿度和光周期的变化均可从不同角度影响昆虫的羽化进程,空气相对湿度过高或过低均不利于蛹的羽化(范立鹏等,2014;周琳等,2015;崔霄等,2016)。前期室内研究表明核桃举肢蛾羽化节律在一天之中存在时辰节律性,核桃举肢蛾成虫只在白天羽化,1 日内其羽化数量随温度升高而增多。在中午时间达到高峰,12:00—14:00 羽化数占到羽化总数的 60.69%(王瑞等,1990)。2010 年至 2014 年本课题组前期室内羽化观察试验表明,将 4 月中旬采集的虫茧置于 25℃ 恒温养虫室内培养时,其每年羽化时期规律较为一致,羽化时间相对提前,均为 4 月下旬至 5 月下旬,羽化日动态成正态分布,外界阴雨天气对其无明显影响。而将虫茧置于室内保湿培养,室内

的温度、湿度环境随室外自然气候变化时,环境温度、湿度对羽化有显著影响。当室温达到 25 时成虫开始羽化,当温度达到 30 且相对湿度达到 70% 时,成虫羽化数量显著增加,当温度降低至 20 以下时,当日无成虫羽化。在此条件下成虫羽化时期为 5 月上旬至 6 月中旬,下雨降温对羽化有较大影响,如 2010 年 5 月 14 日至 5 月 25 连续多日降雨降温天气,12 d 内无羽化现象,直到 5 月 26 日气温回升后又开始有成虫羽化(张涛,2012)。本研究表明室外田间条件下,核桃举肢蛾的羽化节律与室内大致相同,温度与湿度变化对核桃举肢蛾羽化影响较大。2015 年 5 月下旬 24 日至 31 日羽化高峰前后,未出现明显的降雨降温天气,每天羽化的虫口数量变化趋势波动较小。而 2016 年羽化高峰期前后,5 月 25 日至 26 日,6 月 1 日田间出现了两次明显的降雨降温过程,对核桃举肢蛾的羽化具有明显的影响。如 2016 年核桃举肢蛾羽化高峰期,5 月 31 日羽化成虫 327 头,6 月 1 日为 450 头,由于 6 月 1 日傍晚后降雨降温影响,6 月 2 日仅羽化出 72 头成虫,6 月 3 日气温回升后恢复到 211 头。2016 年田间羽化高峰期与 2015 年相比向后推迟了 4 d,这也与 2016 年春季 4 月上中旬连续低温、多雨,核桃树等植物展叶、开花的物候期比 2015 年推迟一周左右相一致。

研究表明许多鳞翅目昆虫的求偶和交配行为多发生在夜间,如杨小舟蛾 *Micromelalopha sieversi*(范立鹏等,2014),三化螟 *Scirpophaga intcertula*(杜家伟,1988),豆野螟 *Maruca vitrata*(Lu et al.,2007)。而前期对核桃举肢蛾研究表明该虫夜间不活动,白天 7:00—16:00 一般隐蔽在光线较暗处静止不动,受到惊吓作快速而短距离跳跃或短时飞行,下午 16:00 至傍晚 19:00 活动频繁。田间与室内不同饲养条件下核桃举肢蛾成虫的爬行、飞翔活跃时期与活动习性基本一致。但在田间调查时发现核桃举肢蛾成虫除在核桃树上活动外,还可以在周边其他植物上较长时间活动停留,如在周边的玉米、桃树、花椒、蓼、蒿草等多种植物上停留、休憩。田间条件下,雌雄虫活跃期喜欢在核桃树冠外侧飞翔,核桃举肢

蛾求偶及交配行为集中在活动高峰期(17:30—19:00),田间可明显观察到雌虫伸出腹部末端产卵器与性腺体,吸引、召唤雄虫的现象。而在室内饲养条件下,核桃举肢蛾雌虫虽然出现腹部末端有节律抽动的性兴奋前期表现症状,但极少出现伸出产卵器与性腺体召唤异性的状态。室内条件下腹部末端有节律抽动的性兴奋状态随成虫日龄的增加而有所延长,羽化后 2~4 d 最为活跃,随后随着羽化龄期的延长,兴奋期内飞行活动次数和速度都逐渐减弱。当雌雄虫养于同一养虫笼内时,由于近距离的接触、刺激,雄虫会主动出击,不经过召唤过程也可进行交配。作者课题组在前期研究中已对核桃举肢蛾室内饲养条件如模拟自然光照、温湿度条件、饲养笼或饲养室内放置带果实的核桃枝叶、盆栽核桃苗等措施进行了大量尝试,但雌虫极少出现伸出产卵器与性腺体的状态,说明室内饲养条件还不能满足其产生求偶、召唤行为的要求,还需要进一步摸索优化。

雌虫出现伸出产卵器与性腺体召唤异性的求偶状态是提取性信息素物质的最佳时期。由于核桃举肢蛾在室内条件下少有伸出产卵器与性腺体召唤异性的求偶状态,这可能导致室内条件下,雌虫性腺体不合成性信息素或仅产生少量的性信息素成分。这种情况下提取到的性腺体浸提液由于不含有性信息素成分或成分含量过低无法检测到,这给核桃举肢蛾性信息素研究带来了困难。本研究通过田间饲养观察,初步明确了核桃举肢蛾野外田间的羽化节律和成虫生殖活动行为,雌虫出现伸出产卵器与性腺体,释放性信息素物质,吸引、召唤雄虫求偶现象的时间、规律与条件。为进一步开展核桃举肢蛾性信息素的研究创造了条件。

参考文献 (References)

- Cui X, Li ZP, Qi JW, Hu CH, Dong ZS, Tang GW, 2016. Timing of emergence and mating of *Piophilal casei* (Diptera: Piophilidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(4): 817–823. [崔霄,李志鹏,戚敬威,胡纯华,董智森,唐国文,2016. 酪蝇的羽化节律和交配行为. 应用昆虫学报, 53(4): 817–823.]
- Du JW, 1998. Studies on sex pheromone of yellow rice borer

- Scirpophaga incertulas* Walker I. observation on the mating behavior. *Acta Entomologica Sinica*, 31(1): 110–112. [杜家纬, 1998. 三化螟性信息素的研究 I. 求偶行为. 昆虫学报, 31(1): 110–112.]
- Fan LP, Zhang Z, Liu YX, Yu ZJ, Kong XB, Wang HB, Zhang SF, 2014. Factors impacting the emergence rhythm and rate of *Micromelalopha sieversi* (Lepidoptera: Notodontidae). *Forest Research*, 27(1): 53–58. [范立鹏, 张真, 刘艳侠, 于占晶, 孔祥波, 王鸿斌, 张苏芳, 2014. 杨小舟蛾羽化节律及羽化率影响因素分析. 林业科学研究, 27(1): 53–58.]
- Guang ZQ, 2011. The occurrence regularity and control measures of *Atrijuglans hitauhei* in luonan county. *Chinese Horticulture Abstracts*, (1): 76–78. [光志琼, 2011. 洛南县核桃举肢蛾发生规律及防治研究. 中国园艺文摘, (1): 76–78.]
- Hao XY, Zhang JT, Wang R, Cao TW, Li YW, 2007. Component analysis of the sex pheromone gland secretion for *Atrijuglans hetaohei* Yang. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 27(4): 409–411. [郝兴宇, 张金桐, 王瑞, 曹天文, 李咏玲, 2007. 核桃举肢蛾性信息素腺体提取物的成分分析. 山西农业大学学报(自然科学版), 30(4): 409–411.]
- Hao XY, Zhang JT, Wang R, Li YW, Cao TW, 2008. Synthesis and field tests of sex attractant for *Atrijuglans hetaohei* Yang. *Journal of Shanxi Agricultural University. (Natural Science Edition)*, 28(3): 303–305. [郝兴宇, 张金桐, 王瑞, 李咏玲, 曹天文, 2008. 核桃举肢蛾性诱剂的合成与林间诱蛾活性试验. 山西农业大学学报, 28(3): 303–305.]
- Jin J, Lu YS, 1954. The preliminary observation and control discuss of *Atrijuglans hetaohei*. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, (8): 400–441. [金骥, 卢友三, 1954. 核桃黑(虫害)初步观察及防治研讨. 农业科学通讯, (8): 440–441.]
- Li HH, 2012. Microlepidoptera of Qinling mountains. Insecta: Lepidoptera. Beijing: Science Press. 64–70. [李后魂, 2012. 秦岭小蛾类. 昆虫纲: 鳞翅目. 北京: 科学出版社. 64–70.]
- Liu FJ, 2011. Biology Habit of *Atrijuglans hitauhei* Yang and the relationship with temperature and humidity. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 39(3): 270–272. [刘芳洁, 2011. 核桃举肢蛾的生物学习性与温湿度的关系. 山西农业科学, 39(3): 270–272.]
- Lu PF, Qiao HL, Wang XP, Zhou XM, Wang XQ, Lei CL, 2007. Adult behavior and circadian rhythm of sex pheromone production and release of the legume pod borer, *Maruca vitrata* (Fabricius) (Lepidoptera: Pralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 50(4): 335–342.
- Song JX, Li DH, 1990. Studies on the bionomics and integrated control of *Atrijuglans hitauhei*. *Journal of Northwest Forestry University*, 5(1): 39–45. [宋继学, 李东鸿, 1990. 核桃举肢蛾发生规律和防治研究. 西北林学院学报, 5(1): 39–45.]
- Tian MJ, Liu FL, Dong JQ, 2010. Out breaking regularity of *Atrijuglans hitauhei* and its comprehensive control techniques. *Journal of Northwest Forestry University*, 25(2): 127–129. [田敏爵, 刘凤利, 董军强, 2010. 商洛地区核桃举肢蛾的生活史及防治. 西北林学院学报, 25(2): 127–129.]
- Wang QQ, Zhang ZQ, Tang GH, 2016. The mitochondrial genome of *Atrijuglans hetaohei* Yang (Lepidoptera: Gelechioidea) and related phylogenetic analyses. *Gene*, 581(1): 66–74.
- Wang R, Li QS, Guo GM, 1994. A preliminary observation on the walnut sun moth in laboratory. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 17(1): 91–94. [王瑞, 李青森, 郭贵明, 1994. 核桃举肢蛾室内饲养观察. 山西农业大学学报(自然科学版), 17(1): 91–94.]
- Wang XW, Li F, Li Q, Peng F, 2007. Studies of the biological characters of *Atrijuglans hitauhei*. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 28(1): 81–83. [王兴旺, 李峰, 李强, 彭飞, 2007. 核桃举肢蛾生物学特性的研究. 四川林业科技, 28(1): 81–83.]
- Yin WH, 2014. Chemical sythesis and study on the sex pheromone of *Atrijuglans hetaohei* Yang. Master dissertation. Yangling: Northwest A & F University. [阴文华, 2014. 核桃举肢蛾 *Atrijuglans hetaohei* Yang 性信息素研究及候选化合物的合成. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- Zhang T, 2012. Study on the sythesis and application of sex pheromones for some boring pests. Doctoral dissertation. Yangling: Northwest A & F University. [张涛, 2012. 几种蛀果害虫性信息素的合成与应用研究. 博士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- Zhou L, Li JL, Wang DL, Lu MX, Feng FY, Yu XY, 2015. Emergence rhythm and oviposition behavior of *Bradysia odoriphaga*. *Journal of Henan Agricultural University*, 49(4): 482–487. [周琳, 李俊领, 王冬兰, 陆梦晓, 冯发运, 余向阳, 2015. 韭菜迟眼蕈蚊的羽化节律与产卵习性. 河南农业大学学报, 49(4): 482–487.]