

金纹细蛾及其优势寄生蜂主要行为的研究

孟 芳¹, 李 鑫¹, 张金钰¹, 刘玉玉¹, 梁耀龙², 许 玲¹,
林晓丽¹, 柳 颖¹, 张京理¹, 姜 超¹

(1 西北农林科技大学 植物保护学院, 陕西 杨凌 712100; 2 天水市秦州区林业局 豹子沟珍惜植物园, 甘肃 天水 741000)

【摘 要】 【目的】探讨金纹细蛾及其优势种寄生蜂的主要行为。【方法】通过饲养、解剖及持续摄像记录等方法,研究了金纹细蛾及其优势种寄生蜂的取食、化蛹、羽化和交配等行为。【结果】金纹细蛾初孵幼虫入叶后先钻长(从起点至终点) $>0.5\text{ cm}$ 的“S”型蛀道再扩展潜食;老熟幼虫化蛹初期虫体僵直,间或侧翻、尾部上下摆动,随之以“3 圈/s 旋转 1 min,间歇 20 s”的周期性运动约 5 h 成蛹;羽化高峰在 09:00 左右,羽化初期,以“破壳器”破虫疤下皮,摇摆渐出至腰腹处稍停,蛹裂,成虫出,历时 1~3 min,初羽化成虫静伏叶背,翅呈蓬松状,18~60 s 后双翅紧贴竖起,渐长,6~20 min 后复位;成虫交配高峰在 08:30,交配过程行为复杂,呈“一”字型静伏 2~3 h;雄虫一生交配 2 次,每天仅 1 次;雌虫一生交配 1 次。3 种寄生蜂的寄生部位、寄生方式、寄生数量与类型、离脱寄主时间均不一致;绒茧蜂内寄外食,钻出前寄主剧烈翻滚 4~5 次/s,持续 7 min 后处于静止状态,幼虫从寄主腹部 1~4 节处钻出并回头呈“C”状取食,7~10 h 内食完寄主后老熟结茧化蛹,羽化高峰在 08:00,羽化需时 15~20 min,1 h 后正常飞行,成虫具明显趋光性;姬小蜂为兼性重寄生蜂,以重寄生金纹细蛾绒茧蜂为主,重寄生率 93.09%,与绒茧蜂构成另一层天敌“跟随现象”,其羽化分短时型和长时型,行为分为破茧、出蜂和飞离 3 个阶段,成虫有较强趋光性;跳小蜂为内寄生,在寄主幼虫 5 龄期可见,致寄主体如“麻花”,17~19 d 羽化,且单寄主中多个跳小蜂不同时羽化,羽化结束时,寄主躯体带多个小孔,但仍完整。【结论】金纹细蛾及其优势种寄生蜂各自的行为呈现很强的规律性、多样性和相关性。

【关键词】 金纹细蛾;寄生蜂;初寄生;重寄生

【中图分类号】 S436.611.2⁺9;S433.4 【文献标识码】 A 【文章编号】 1671-9387(2010)05-0093-08

Behaviors of the Asiatic Apple Leaf-miner, *Lithocolletis ringoniella* Mats. and its dominant parasitic wasps

MENG Fang¹, LI Xin¹, ZHANG Jin-yu¹, LIU Yu-yu¹, LIANG Yao-long²,
XU Ling¹, LIN Xiao-li¹, LIU Ying¹, ZHANG Jing-li¹, JIANG Chao¹

(1 College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 The Treasure Botanical Garden in Baozigou of Forestry, Qinzhou District, Tianshui, Gansu 741000, China)

Abstract: 【Objective】The study was conducted to understand the main behavior relationship between the Asiatic Apple Leaf-miner, *Lithocolletis ringoniella* Mats. and its dominant parasitic wasps. 【Method】Their behaviors like feeding, pupation, emergence, mating, etc were studied through breeding, anatomy and continual videoing. 【Result】The results showed that newly-hatched *Lithocolletis ringoniella* drills S-shaped bore longer than 0.5 cm (from the point of origin to the end-point) and then broadens it through feeding; mature larva at the initial stage of pupation becomes rigor with body and occasionally keeps side-turning or swings up and down with the tail. Then it makes cyclical spinning at 3 rounds per second for 1

* [收稿日期] 2009-11-09

[基金项目] 陕西省农业攻关项目(2008K01-04);世界银行资助项目(Y/SHYL/XY/050)

[作者简介] 孟 芳(1984—),女,甘肃两当人,在读硕士,主要从事农业昆虫与害虫防治研究。E-mail: mengfanglyl@163.com

[通信作者] 李 鑫(1957—),男,陕西岐山人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事果树害虫管理与农业标准化研究。

E-mail: lixin57@hotmail.com

minute with an interval at 20 s, which lasts about 5 h to arrive at pupation. Emergenced maxima come about nine o'clock in the morning. At the beginning of emergency, the moth reposes on the back of leaf with loose wings that after 18—60 seconds go vertical and tightly connected, and returns to original position in 6—20 min. Adult mating peak appears at 08:30. Mating behavior is a complex process; after reposing in “—” shape for 2—3 h, mating begins. Males mate two times in a life, once a day while females only one time. Parasitic host larva of three kinds of parasitic wasps are different in parasitic positions, modes, quantity and frequencies and the time leaving hosts. *Apanteles theivorae* parasites inside and feeds outside. Before larvae drills, the host fiercely rolls 4—5 times/s and keeps static for 7 min. Then larvae drills and comes out from 1st—4th sections of the host abdomen and keeps feeding on food, with the body “C” shaped. Feeding finishes within 7—10 h, and reaches mature larvae, followed by pupating and spinning the cocoon. Emergenced maxima come at eight o'clock in the morning. Emergence takes 15—20 min and flying happens after 1 h. The type of *Sympiesis soriceicornis* belongs to facultative hyperparasitism, parasitizing *Apanteles theivorae* with a majority. The rate of its hyperparasitism is 93.09%, constituting another level of natural enemy followers with *Apanteles theivorae*. Its emergence is divided into short-term and long-term types. The behaviors are divided into three phases; decocooning, drilling and flying away. *Ageniaspis testacesipes* belongs to internal parasite, visible at the age 5, making host looking like twisted dough. Emergence of *Ageniaspis testacesipes* occurs after 17—19 d but not at the same time in each individual host. 【Conclusion】 The main behaviors between the Asiatic Apple Leaf-miner, *Lithocolletis ringoniella* Mats. and its dominant parasitic wasps have respective regularities, diversities and correlations. Because no differentiation on the female and male of *Apanteles theivorae* was made, research is not very thorough to its part of behavior; the research on *Ageniaspis testacesipes* is not very comprehensive either. All of these need further exploration.

Key words: *Lithocolletis ringoniella* Mats.; parasitic wasp; protoparasitism; hyperparasitism

金纹细蛾(*Lithocolletis ringoniella* Mats., 鳞翅目, 细蛾科)已成为我国北方苹果产区为害叶片, 并导致苹果产量、品质下降的重要害虫之一, 自 1993 年在我国大部分果园爆发^[1]以来至今仍维持着优势水平。目前, 关于金纹细蛾生物学、田间发生规律和有效药剂防治筛选等方面的研究较多^[2-5]。对金纹细蛾寄生蜂的研究, 日本氏家武的调查报告有 20 种, 其中有一部分是重寄生蜂^[6]。陈川等^[7]对黄土高原苹果园金纹细蛾及其寄生蜂的初步研究发现, 其取食与寄生关系复杂, 金纹细蛾绒茧蜂(*Apanteles theivorae*)、金纹细蛾跳小蜂(*Ageniaspis testacesipes*)和金纹细蛾姬小蜂(*Sympiesis soriceicornis*)是该区域金纹细蛾自然生物控制的优势种。但对金纹细蛾及其寄生蜂的行为和相互寄生关系的研究尚未见报道。

为进一步了解苹果园金纹细蛾及其主要寄生蜂的自然属性, 特别是其有关行为, 揭示这类生物的生存关系与依赖关系本质, 寻找金纹细蛾种群抑制的自然生物制约因子及其行为表现, 本研究通过饲养、解剖及持续摄像纪录等方法, 研究了金纹细蛾及其优势种寄生蜂的取食、化蛹、羽化和交配等行为, 以

期为害虫天敌利用提供一定理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2008-11 从洛川县苹果园采回金纹细蛾虫疤叶室内保存。同期, 从西北农林科技大学园艺场苗圃选取生长健壮、整齐度一致的 3 年生盆栽富士系苹果苗 5 株, 于室内分别以 1.0 m×1.0 m×1.5 m(粒径 0.12 mm)网室笼罩备用; 翌年 3 月剖检金纹细蛾越冬虫, 并分离健蛹置于钟罩内培养皿中, 待观察羽化; 被害生者收集于自制的寄生蜂羽化罩内, 待观察。

分别以 10 头虫量接入 1.0 m×1.0 m×1.5 m 纱网(粒径 0.12 mm)笼罩的苹果盆苗内, 5~6 d 后开始观察金纹细蛾有关行为。收集羽化交尾后的金纹细蛾雌虫, 分离被寄生态的金纹细蛾蛹与幼虫备用。

1.2 金纹细蛾行为的观察

1.2.1 幼虫取食行为 2009-04-10, 取羽化交尾后的金纹细蛾雌虫, 以每网 10 头虫量接虫于苹果苗上, 使其产卵。第 6 天开始用 20×手持放大镜, 寻

找、标记初孵幼虫入叶位置,并固定虫叶8片/株。此后,每天06:00—18:00,采用近摄拍照(理光100)+放大镜观察绘图记录方式,描绘虫疤形状变化,记录虫疤颜色与下表皮分离褶皱化程度。同时,用精度0.05 mm的游标卡尺测量。重复观察虫疤80个。

1.2.2 化蛹行为 在上述苹果苗上,选摘虫疤不再扩展的未标记叶片,带水脱脂棉包裹叶柄,叶背向上,平置于直径10 cm、底部铺垫清洁保湿滤纸的培养皿中;每皿1片,室温(温度 (26 ± 1) ℃、相对湿度 $(70\pm5)\%$,下同)下,对5龄期幼虫^[8],于解剖镜下放大透视老熟幼虫的行为。当其身体开始旋转时,用解剖针顺虫疤纵轴方向一侧轻轻挑开疤膜,观察继续化蛹过程行为,记录过程身体活动姿势、每姿势持续时间和间歇时间以及化蛹前后的蛹体、颜色变化等特征数据,并以其垂直投影、借助圆规测量腹部呈圆形旋转的半径 R 。重复观察30头。

1.2.3 羽化行为 于网罩苹果树苗叶片内金纹细蛾幼虫羽化始期开始,用自制桌面养虫笼(圆柱形塑料,直径4 cm、高4 cm,一端用粒径0.12 mm的纱网封口)定时收集(从06:00—23:00每隔1 h收集记录1次)成虫的羽化数量。同时,在金纹细蛾羽化高峰日,升高苹果苗于40 cm支架(便于观察上下叶片),选取并标定即将羽化的虫疤叶10片,自下而上摄像,持续观察叶背虫疤变化状态,逐一记录成虫羽化的过程行为及其羽化后的活动行为。而后将结束羽化的虫疤解剖,记录虫疤内部构造。重复观察30头。

1.2.4 交配行为 选取初羽化、发育正常、身体健壮、体格大小一致的金纹细蛾雌、雄虫各15头,于室温下转入直径18 cm、高31 cm的玻璃钟罩内;钟罩顶部小孔用粒径0.12 mm的纱网封口,罩内置新鲜水培带叶苹果枝。次日05:00起(日交配高峰前期)连续观察3~5 h^[9],记录交尾过程行为。

1.3 金纹细蛾优势种寄生蜂行为的观察

1.3.1 羽化行为 于室温下,将金纹细蛾寄生蜂蛹/茧置于自制桌面养虫笼(在1.2.3基础上,改制两端封口,一端固定长3 cm、直径0.8 cm的透明玻璃管)内,10 h后,置解剖镜下,观察记载单位时间羽化数量。每2 h收集、转移和记录寄生蜂羽化数量、种类、雌雄等。将00:00—06:00金纹细蛾及其寄生蜂羽化的总数记为06:00羽化数量(预试验发现00:00—06:00羽化极少)。

对于金纹细蛾绒茧蜂的行为研究,主要在7—8月进行(此期为其盛发期)。

对于金纹细蛾姬小蜂、寄生绒茧蜂的重寄生羽化行为研究,只有在其重寄生发生率极高的10月份(姬小蜂盛发期)进行(因为姬小蜂是否重寄生于绒茧蜂,从绒茧蜂茧的外形无法辨识)。

相同条件下,移取将羽化的寄生蜂蛹/茧5只,置直径10 cm的培养皿中,观察记载羽化过程行为。重复20次。

1.3.2 交配行为 在金纹细蛾寄生蜂羽化高峰期,选择24 h内羽化而未交配、发育正常、大小一致的雌、雄蜂各30头,于次日06:00同时分置移入自制透明观察皿(透明塑料桶改制,直径8 cm、高10 cm,局部开一可封闭小门,置于玻璃板上)中,每皿1对,10%蜂蜜水饲养,室温下连续分段观察记载交尾行为与节律。重复15次。

交配行为观察,分单配对持续行为观察和交配1次后置换雌或雄性行为观察。置换的寄生蜂属于未交配个体。

2 结果与分析

2.1 金纹细蛾的行为

2.1.1 幼虫取食行为 金纹细蛾成虫产卵于苹果叶片背面适当位置,孵化幼虫潜入叶背表皮下进入取食过程。观察表明,初孵幼虫不能咬穿1~3级叶脉,只能在叶脉框定的范围内啃食叶肉。2~3 d后,叶背可见“S”型尖头细尾的弯曲蛀道,其直线距离0.4~0.6 cm,紧接扩大面积的取食疤,显然“S”型的尖头处是其孵化点;此时幼虫可穿过叶片3级侧脉。取食时,金纹细蛾幼虫身体与虫疤边缘线呈0~90°夹角,取食位点不确定。取食造成叶背表皮和叶肉细胞分离,形成梨型或近圆型虫疤,虫疤处叶背表皮白色透明,透视可见幼虫。6~7 d后,幼虫可穿过叶片2级侧脉取食,虫疤面积迅速扩大,面积最大时为1.94 mm×0.98 mm;此时虫疤形状呈椭圆型或长条斑。8~9 d后,叶背虫疤处下表皮出现褶皱,叶正面虫疤处渐隆起且边缘出现1圈“小天窗”(叶上表皮完好,被叶片2级或3级侧脉包围)。待虫疤周边食物短缺时,幼虫开始取食虫疤中间的叶肉组织,形成更多的“小天窗”。随着取食的继续,叶背褶皱也逐渐增多,褶皱颜色由白变黄绿色直至褐色,疤痕处下表皮面积逐渐缩小。叶正面虫疤上“小天窗”亦逐渐增多,且虫疤更加隆起。19~20 d后,幼虫不再取食,叶背虫疤处下表皮褶皱度达最大,被害叶面积也不再扩展。

2.1.2 化蛹行为 化蛹前,老熟幼虫(5龄)在虫疤

内沿疤纵轴方向(平行于一级侧脉方向)吐丝结一薄茧,虫体清晰可见;茧体稍扁,宽为虫体宽的 2 倍,长为虫体长的 1~1.5 倍;茧体头部有一孔洞,直径约等于虫体直径,应为其预留的羽化孔。化蛹初始,老熟幼虫身体僵直,间或侧翻、尾部上下快速摆动且有顺时针或逆时针整圈旋转(从头部看)行为,旋转速度约 3 圈/s,最快时达 4 圈/s,快速旋转 1 min 后,间歇约 20 s,继续旋转,全程反复持续约 5 h。此时,虫体较化蛹前变得更细长,节更加明显,头部和尖细的尾部呈透明状。之后,金纹细蛾旋转速度与时长逐渐减小,间歇期逐渐增大。在旋转过程中,翅芽渐长出,并逐渐覆盖到腹部,被蛹形成。蛹体颜色由刚化蛹时的浅黄色变成深黄色。

若将老熟幼虫移入培养皿,化蛹前不能成茧。这可能是皿表面光滑无着丝点的缘故。

2.1.3 羽化行为 由图 1 可以看出,金纹细蛾的羽化以白天为主。1 d 中,金纹细蛾羽化数量最多的在 09:00 左右,说明该虫具有严格的日节律节奏。从羽

化总趋势看,该虫羽化主要集中在上午 08:00—11:00,占羽化总量的 61.25%;14:00 和 22:00 分别出现 2 个小高峰,均占 8.75%;16:00—21:00 和 23:00—06:00,为该虫羽化的 2 段相对静稳期,后者羽化数量更少,共计仅 5 头,几乎停滞。

观察发现,羽化初期,金纹细蛾先以黑色破壳器划顶虫疤表皮并刺穿,蛹体渐露出直至腰腹处,蛹体不再继续向外,随后蛹体蜕裂线裂开,成虫头先钻出,接着触角和前足拖出,并以此作为支点将腹部“脱出”,然后再借助足将双翅从蛹壳中“拉出”,金纹细蛾蛹壳保留在虫疤上,前 1/2 部分在虫疤外,剩余 1/2 部分在虫疤内。从叶背虫疤薄膜出现“小黑点”到金纹细蛾钻出时间为 1~3 min。刚羽化出的金纹细蛾怕光,在叶背距羽化孔 1~2 cm 处翅蓬松状,18~60 s 之后,两翅背相向紧贴竖起,渐长,与其身体呈垂直,6~20 min 后两翅下落,触角上下晃动,并在叶背面开始爬行。

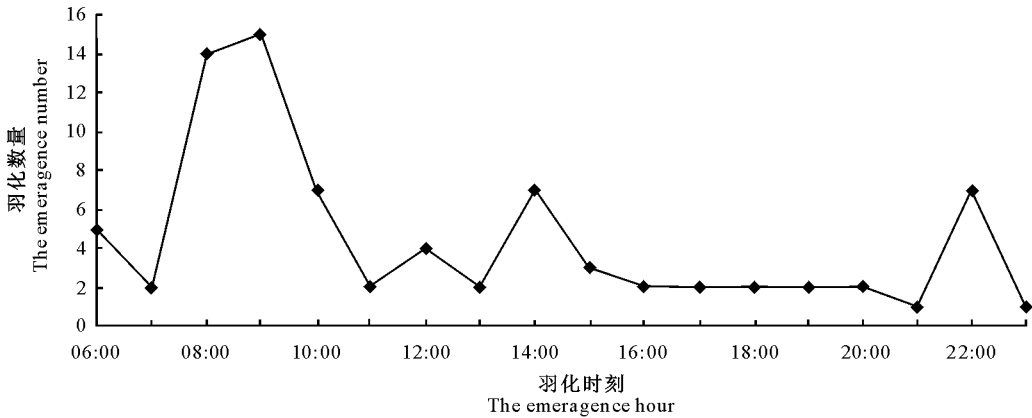


图 1 金纹细蛾 1 d 内的羽化节律

Fig. 1 Emergence circadian rhythm of *Lithocolletis ringoniella* in a day

2.1.4 交配动态 (1)交配节律。从图 2 可以看出,金纹细蛾交配集中在早晨 06:30—11:30,交配

数占总数的 86.67%,高峰期在 08:30,11:30—19:30 交配数为 0。

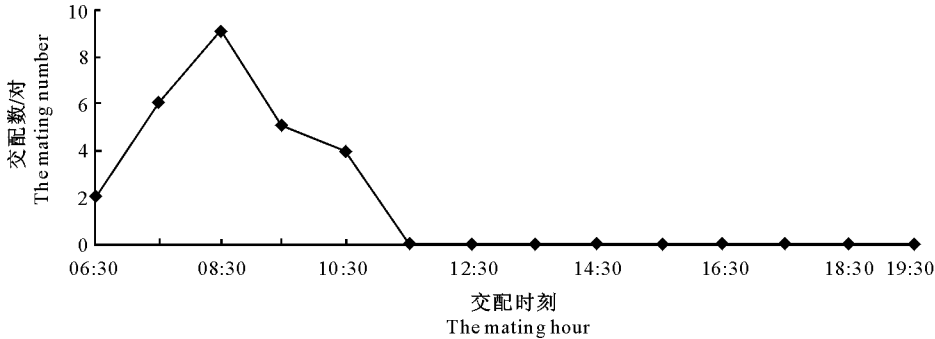


图 2 金纹细蛾的交配节律

Fig. 2 Mating circadian rhythm of *Lithocolletis ringoniella*

观察表明,金纹细蛾雄虫在当日交配 1 次后不

再交配,直到次日交配高峰期,与未交配雌虫再次交

配,一生交配 2 次。金纹细蛾雌虫一生只交配 1 次。雌雄交配时间长达 2~3 h。交配后雌虫的寿命为 3~5 d,雄虫为 1~2 d。

(2)交配行为。交配前,雌虫腹部于两翅间翘起,双翅呈蓬松状,触角贴翅不动或在虫体附着面平行的面上左右交替一开一合。雄虫在雌虫周围不断爬行,从雌虫侧后方靠近,并用触角触及雌虫的身体腹部,雌虫尾部立即下落,尾部生殖器上的肛突张开,雄虫立即将其尾部靠上触及雌虫生殖器并插入阳具,之后两虫呈“一”字型静伏,雌雄虫触角分别偶而有动,摆幅较小,或者上下、或者左右,分别交替进行。当雌雄虫尾部触及不能在 1~2 s 内迅速结合时,雄虫会即刻离去,雌虫继而尾部上翘,等待雄虫的下一 次到来,直至交配成功。一般这种动作反复 1~2 次,少数则需要 6~7 次才能完成。

交配过程中雄虫的翅尖蓬松状置于雌虫翅尖

上,雌虫尾部生殖孔以平均 2.16 次/s 的频率一开一合。其间雌雄虫触角无规律偶尔左右开合晃动。

交配即将结束时,雌虫生殖孔张开,雄虫抽出阳具,朝雌虫反方向爬离,距雌虫约 1 cm 处停留。刚交配完的雌虫继续停留在交配地,约 15 min 后离去。

2.2 金纹细蛾优势种寄生蜂的行为

2.2.1 寄生蜂的寄生特性 从表 1 可以看出,3 种主要金纹细蛾寄生蜂的寄生部位和寄生方式多样,寄生数量和寄生类型各异,寄生和离脱寄主的时间也不一致。说明以金纹细蛾为中心寄主的寄生蜂寄生体系组成结构和关系复杂。从生物的自然生存与发展角度看,这种复杂的关系有利于寄生蜂各个种群的发展与壮大,形成了一种较为强大的互惠共生关系。寄生蜂的寄生,多发生在寄主幼虫发育的中程时段,很少在末龄上寄生。

表 1 3 种主要金纹细蛾寄生蜂的寄生特性

Table 1 The parasitism features of three major parasitic wasps of *Lithocolletis ringoniella*

寄生蜂 Major parasitic wasp	寄生部位 Site	寄生方式 Strategy	寄生数量 Quantity	寄生类型 Type	寄生时间 (寄主) Parasitism time (Host)	离脱时间 (寄主) Drilling time (Host)
绒茧蜂 <i>Apanteles theivorae</i>	内寄生 Edtoparasitism	容性 Koinobiont	单寄生 Haploparasitism	初寄生 Protoparasitism	无足幼虫期 Apdous larva period	有足幼虫期 Pedis period
姬小蜂 <i>Sympiesis soriceicornis</i>	外寄生 Ectoperparasitism	抑性 Idiobiont	单寄生 Haploparasitism	兼性重寄生 Facultative hyperparasitism	有足幼虫期、蛹期 Pedis period, pupa period	有足幼虫期、蛹期 Pedis period, pupa period
跳小蜂 <i>Ageniaspis testaceipes</i>	内寄生 Edtoparasitism	容性 Koinobiont	群集寄生 Gregarious parasitism	初寄生 Protoparasitism	卵期 Eggs period	有足幼虫期 Pedis period

2.2.2 金纹细蛾寄生蜂优势种的行为 (1)绒茧蜂的羽化节律与行为。①羽化节律。对观察到的 163 头金纹细蛾绒茧蜂在连续 18 h 内(未观察的 6 h 内羽化数量全部记入早 06:00)的羽化数量见图 3。从图 3 可以看出,金纹细蛾绒茧蜂在 1 d 内均有羽化

现象;日羽化高峰在 08:00 左右(65.03%),此后羽化数量很快下降;到 12:00 羽化数量基本平稳,14:00 之后开始逐渐减少,到 20:00 时只羽化 2 头(1.84%),随后并无明显增量。

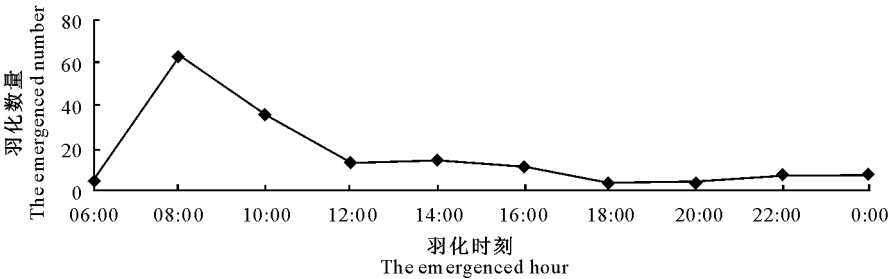


图 3 金纹细蛾绒茧蜂的羽化节律

Fig. 3 Emergence circadian rhythm of *Apanteles theivorae*

①取食、结茧与羽化行为。金纹细蛾绒茧蜂幼虫取食行为特殊,先内后外。绒茧蜂属于容性内寄

生蜂,该蜂将卵产于寄主无足期(1~2 龄期)^[8] 幼虫的体内,孵化后先在寄主体内取食,寄主行为未见异

常。当寄主发育到 4 龄时发生剧烈扭曲现象,躯体在背腹平面,头尾同时弯曲,翘起角度与水平面呈 30°~45°夹角,频率 4~5 次/s,且持续 7 min 之久,此后一直处于静止状态。约 1 h 后,寄生蜂幼虫头部从寄主身体腹部 1~4 节处钻出,腹部仍留在寄主体内。之后进入外寄生的发育阶段,即绒茧蜂幼虫头部再钻进寄主幼虫体内,身体呈“C”形继续取食寄主,取食位点不固定,7~10 h 后即可把寄主体内的内含物取食完,寄主只剩下表皮,且皱瘪、缩小成团。此时绒茧蜂幼虫也已老熟(体长 2.5~3 mm)。

绒茧蜂老熟幼虫结茧以下唇腺生丝而成。老熟幼虫脱离寄主后,在虫疤内寄主尸体旁开始结茧化蛹,先沿虫疤内壁上吐丝结成一薄片,且在头尾两端沿虫疤纵轴方向吐悬 2 条平行的丝束,随后在两丝束中间分别选择一固着点开始结茧。结茧先头部、再尾部,两头交替进行,间隔 10~16 min;在头部前后移动中,茧体的中部也被挂丝织成。织成的丝茧呈白色网状,壁薄且具一定透视性。茧内幼虫先呈淡黄色,随茧的增厚而失其显形,且茧显白色;5 d 后茧显灰色,为内部虫体变色而成。完工的茧呈圆筒形,长 2.5~3 mm,最宽处约 1.5 mm,两端稍细,顶钝圆,壁较厚。

室温下,历经 6~10 d 蛹可羽化。蛹将羽化时,透过白色茧壳可见内部蛹体显黑色,透过茧壳可以看见茧内黑色排泄物和褐色蛹壳。羽化时,在茧一

端 1/4 处呈横截面(截面直径 0.6 mm)咬开一个切口整齐的“小帽”(“小帽”的一边还连接在茧上)顶开,钻出,钻出时头部和前足先伸出,腹部最后脱出。整个过程持续 15~20 min。

刚羽化出的成蜂在容器内壁上爬行,并用前足和后足反复梳理触角、复眼周围的区域和双翅,持续约 45 min 后,开始试飞,并不断梳理双翅,此行为耗时 15 min。之后能够正常飞行。成虫具有明显的趋光性。

(2)姬小蜂的羽化行为。③寄生关系。金纹细蛾姬小蜂是兼性重寄生蜂,既可以寄生在金纹细蛾的幼虫、蛹,亦能够重寄生在金纹细蛾绒茧蜂,其寄生的数量关系如表 2 所示。从表 2 可以看出,金纹细蛾姬小蜂以重寄生金纹细蛾绒茧蜂为主,占寄生总量的 93.09%;而寄生金纹细蛾蛹者仅为 0.92%。以金纹细蛾蛹为食的姬小蜂雌雄比最高,达 14.00,而重寄生于绒茧蜂的雌雄比为 1.64。雌性产卵时在个体大的寄主上产的雌性卵较多,而在个体小的寄主上产的雄性卵较多^[10-11]。因此,姬小蜂的雌雄比与寄主食物的多寡有很大关系。就金纹细蛾而言,蛹的食物质量比幼虫高,所以羽化的雌蜂相对多。从食物链的角度讲,重寄生比初寄生多了一个食物链环节,营养自然较初寄生少很多,其雌雄比自然较初寄生的小。

表 2 金纹细蛾姬小蜂的寄生和重寄生数量关系

Table 2 The relationship of number between parasitism and hyperparasitism of *Sympiesis soriceicornis*

寄主 Host		寄生数量 Number	S/H/%	雌蜂 Female	雄蜂 Male	雌雄比 Sex rate
绒茧蜂 <i>Apanteles theivora</i>		1 522	93.09	945	577	1.64
金纹细蛾	蛹 Pupa	15	0.92	14	1	14.00
<i>Lithocolletis ringoniella</i>	幼虫 Larvae	98	5.99	90	8	11.25
合计 Totle		1 635	100	1 049	586	1.79

注:金纹细蛾姬小蜂寄生金纹细蛾蛹、幼虫及其绒茧蜂,属单寄生。9 月中旬~10 月中旬,被姬小蜂重寄生的绒茧蜂占绒茧蜂总量的 89%。S/H 为寄生或重寄生率。

Note:The types of parasitism from *Sympiesis soriceicornis* to *Lithocollet ringoniella* pupation,larva and *Apanteles theivora* belong to solitary parasitism. From mid-September to mid-October,*Apanteles theivora* are hyperparasitism account for 89%. S/H means ratio of protoparasitism or facultative hyperparasitism.

④羽化行为。从图 4 可以看出,总体上,金纹细蛾姬小蜂雄蜂的日羽化数量明显高于雌蜂。从羽化数量变化趋势看,姬小蜂日羽化有 2 个高峰,分别为 08:00 和 16:00,且以前者为主。就雄蜂而言,其峰、谷的变化较雌蜂突出,雌蜂羽化则一直处于相对平稳状态。

姬小蜂重寄生于绒茧蜂,其后代成虫的羽化是,先在绒茧蜂茧的一端侧面咬开一个与头等宽的近圆

形(直径 0.5 mm)不规则小孔,触角和头部先伸出,再借助触角端节不断在茧外表面后压的力量(其中、后足一定在茧内后蹬助力),将前足从茧内拉出,而后借助前足扒蹬茧壳的力量,使胸、腹部和后两对足挣脱茧壳。整个羽化过程耗时差异较大,分为短时型和长时型两类:在 10~30 min 完成羽化者,过程中表现活跃,不断地努力以实现脱壳;持续 1 h 左右者,羽化过程行为迟缓,动动停停。

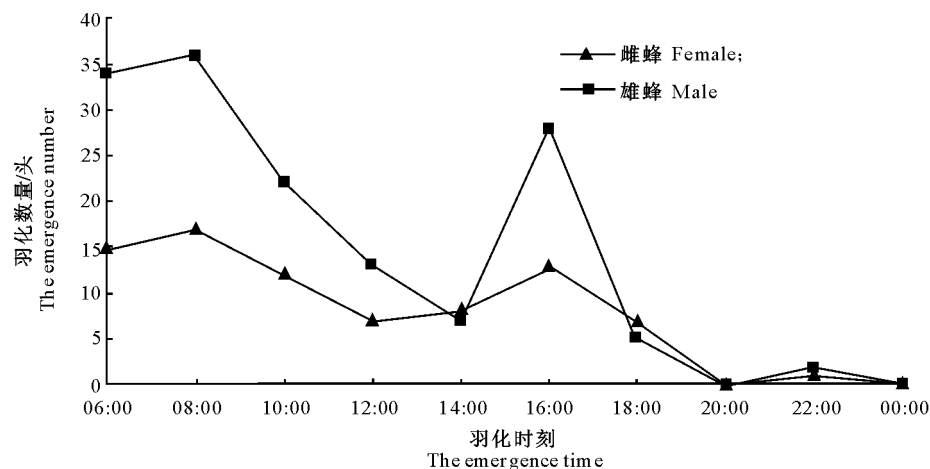


图 4 金纹细蛾姬小蜂 1 d 内羽化数量的变化

Fig. 4 Emergence circadian rhythm of *Sympiesis soriceicornis* in a day

羽化出的姬小蜂,在羽化处用前足和后足反复梳理触角、复眼周围区域和双翅,持续约 2 h。之后在羽化处附近爬行,两触角上下交替(46 次/min)不断敲击培养皿内壁,经过 3~6 min 的“准备”便可以飞行。成虫有较强的趋光性。

(3)金纹细蛾跳小蜂的羽化行为。跳小蜂在寄主体内有 10 头以下蜂蛹时全单行排列;大于 10 头时,先单行排列,随后呈双行排列,然后又是单行。蛹期 12~14 d。被寄生的 5 龄期幼虫,外形似“麻花”。

金纹细蛾跳小蜂在寄主体内发育成熟时,金纹细蛾已到 5 龄期,受该蜂影响停止取食,身体发黄,静止不动,持续 17~19 d,透过金纹细蛾幼虫体表,可见跳小蜂蛹为黑色,并开始羽化。金纹细蛾跳小蜂在寄主体内发育一般不同步,所以金纹细蛾跳小蜂羽化时,一个寄主体内多个跳小蜂一般不同时羽化,每头金纹细蛾跳小蜂羽化时间为 1~1.5 h,跳小蜂羽化时,从头部破开一个较跳小蜂头稍大的孔钻出。所有的跳小蜂都羽化出来时,整个金纹细蛾的身体虽然带着多个小孔,仍很完整。

3 讨 论

随金纹细蛾幼虫在叶片内取食面积和时间增加,苹果叶片上虫疤处的下表皮沿疤纵轴方向起绉、打折,导致虫疤处叶正面隆起,背面加厚,使虫疤内空间加大、下表皮屏障作用加强,小空间生活的安全性也更为好转。金纹细蛾在化蛹过程中的不断旋转运动现象,与其体内的物理格局、生理状态和生化适应从幼虫到成虫状态的转变有着直接联系,其本质需要和相对能量的非保留化损耗机理,需要从生化

行为与分子行为方面加以探索。1 d 中,金纹细蛾羽化数量最多在 09:00 左右,与田间用性诱结果相符合^[12]。

研究显示,金纹细蛾—金纹细蛾绒茧蜂—金纹细蛾姬小蜂,三者成为在不同时间、同一空间上的线型食物链关系,且顺次形成了典型的天敌“跟随现象”。绒茧蜂跟随性控制着金纹细蛾,金纹细蛾 6 月开始发生^[13],当绒茧蜂种群数量明显增加时(8 月中旬),姬小蜂抑制绒茧蜂,到 9 月高达 93.09%,说明金纹细蛾与其寄生蜂之间的关系复杂。同时,对于姬小蜂进入 9 月后的害益性评估成为防治利用时需要考虑的重要问题。另外,由于受绒茧蜂茧的影响,对寄生它的姬小蜂羽化前行为难以定位,且该蜂在重寄生羽化时出现“两型”现象,是与此前发育中的食物有关,还是与雌雄的不同有关,这需要进一步深入研究。

4 结 论

金纹细蛾成虫产卵于苹果叶片背面适当位置,幼虫孵化后潜入叶背表皮下进入取食过程。初孵幼虫 2~3 d 后于叶中取食造成叶背表皮和叶肉细胞分离,形成“S”型尖头细尾的弯曲蛀道;在距孵化处直线距离 0.4~0.6 cm 处开始扩展取食,直至虫疤扩到最大值 1.94 mm × 0.98 mm 时,开始集中取食叶肉细胞,叶正面虫疤隆起且形成“小天窗”,叶背面虫疤表皮皱缩。

老熟幼虫化蛹初期,虫体僵直,间或侧翻、尾部上下快速摆动,之后以“3 圈/s 旋转 1 min,间歇约 20 s”的周期性运动方式持续约 5 h。随后可见虫体更加细长,头、尾呈透明状,身体分节更明显。在旋

转中,翅芽长出,渐盖腹部;其余附肢也正常显现,直至被蛹形成。

金纹细蛾羽化高峰在 09:00 左右;羽化初期,蛹头部的破壳器将虫疤叶下表皮刺破,渐出蛹体到腰腹处,稍停,蛹裂,成虫头扭动钻出,触角、前足、腹部陆续脱出,双翅最后拉出。此期历时 1~3 min。初羽化成虫静伏于距羽化孔 1~2 cm 处,翅呈蓬松状,18~60 s 后双翅紧贴竖起于背部,渐长,6~20 min 后复位;触角上下晃动,并在叶背面开始爬行。

金纹细蛾交配集中在 06:30—11:30,高峰期在 08:30 左右。交配前,雌虫双翅蓬松状,腹部翘起,触角贴翅不动或左右交替开合;雄虫绕雌虫爬行,从雌虫侧后方靠近,并以触角触及雌虫身体腹部,随即雌虫尾部下落,肛突张开,雄虫移尾接之,后呈“一”字型静伏,触角分别偶而有动,雄虫翅尖蓬松且置于雌虫翅尖之上,雌虫尾部生殖孔以平均 2.16 次/s 的频率开合。交配时长 2~3 h,结束后,雄虫在距雌虫约 1 cm 处停留;雌虫约 15 min 后离去。雄虫一生交配 2 次,但每天仅交配 1 次;雌虫一生只交配 1 次。

3 种金纹细蛾寄生蜂幼虫,在金纹细蛾体的寄生部位和寄生方式多样;寄生数量和寄生类型不同,寄生和离脱寄主的时间也不一致。

金纹细蛾绒茧蜂属于容性内寄生蜂。当寄主发育到 4 龄时,寄生蜂身体剧烈翻滚扭曲,频率 4~5 次/s,且持续 7 min,此后处于静止状态;约 1 h 后,寄生蜂幼虫从寄主腹部 1~4 节处钻出,又回头呈“C”状从另一部位继续取食寄主,取食位点不固定;7~10 h 食完寄主,老熟幼虫先在寄主虫疤内壁吐丝结一薄丝片,并沿虫疤纵轴方向吐结 2 条平行悬起的丝束,再于两束丝中间以“先头部、再尾部,间隔 10~16 min 换位”的交替方式结茧。绒茧蜂日羽化高峰在 08:00 左右(65.03%);羽化时,茧一端 1/4 处呈横截状(截面直径 0.6 mm)开启一个一边连在茧上的“小帽”,蜂头露出,再是前足,腹部最后脱出。全程需 15~20 min,1 h 后正常飞行。成虫具明显趋光性。

金纹细蛾姬小蜂属于兼性重寄生蜂,以重寄生金纹细蛾绒茧蜂为主,占寄生总量的 93.09%。姬小蜂重寄生后代羽化时,先在绒茧蜂茧的一端侧面开一不规则小孔(直径 0.5 mm),与头等宽,触角和头部伸出,再将前足拖出,而后借助前足扒蹬的力量,使胸、腹部、后足挣脱出茧。该过程分短耗时型(10~30 min 完成)和长耗时型(需 1 h 左右羽化),

前者明显活跃有力,后者则慢动且伴间歇现象。羽化后 2 h 可正常飞行。成虫有较强的趋光性。

金纹细蛾跳小蜂在金纹细蛾幼虫 5 龄期显现并发育,体黄,静止不动,致寄主身体如麻花状。经 17~19 d,跳小蜂蛹变黑色,开始先后羽化,每头羽化时间为 1~1.5 h。跳小蜂羽化时,从蛹头部破开一孔钻出。所有的跳小蜂羽化结束时,寄主的躯体虽带多个小孔,但仍然完整。

[参考文献]

- [1] 张乃鑫,姜元振,谌有光,等. 中国主要害虫综合防治 [M]. 北京:科学出版社,1979:223-237.
Zhang N X, Jiang Y Z, Chen Y G, et al. Integrated major pest management in China [M]. Beijing: Science Press, 1979: 223-237. (in Chinese)
- [2] 孙益知,马谷芳,赵秀芳. 金纹细蛾寄生蜂的初步研究 [J]. 昆虫天敌,1987,9(3):156-159.
Sun Y Z, Ma G F, Zhao X F. Primary study on the parasitic wasps of the Asiatic Apple Leaf-miner, *Lithocolletis ringoniella* Mats. [J]. Natural Enemies of Insects, 1987, 9(3): 156-159. (in Chinese)
- [3] 侯绍金. 金纹细蛾姬小蜂观察报告 [J]. 烟台果树, 1987(2): 23.
Hou S J. Observation report of *Sympiesis soriceicornis* [J]. Yantai Fruits, 1987(2): 23. (in Chinese)
- [4] 侯绍金,徐志宏. 金纹细蛾跳小蜂初步研究 [J]. 山东农业科学, 1989(1): 18-19.
Hou S J, Xu Z H. Primary study on the *Ageniaspis testaceipes* (Ratz.) [J]. Shandong Agricultural Sciences, 1989(1): 18-19. (in Chinese)
- [5] 侯绍金. 金纹细蛾的天敌——金纹细蛾羽角姬小蜂的观察与利用 [J]. 落叶果树, 1990(2): 9.
Hou S J. Natural enemies of the Asiatic Apple Leaf-miner, *Lithocolletis ringoniella* Mats. —observation and utilization of *sympiesis foerst* [J]. Deciduous Fruits, 1990(2): 9. (in Chinese)
- [6] 韩琥珀,高九思,马趁英,等. 豫西苹果园金纹细蛾猖獗危害原因及防治对策 [J]. 河南农业科学, 2004(2): 47-48.
Han H P, Gao J S, Ma C Y, et al. The reason of outbreak harm of *Lithocolletis ringoniella* Mats. in apple garden in west Henan and its controlling countermeasures [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2004(2): 47-48. (in Chinese)
- [7] 陈川,唐周怀,屈军涛,等. 陕西苹果园的天敌昆虫资源及利用 [J]. 陕西师范大学学报:自然科学版, 2003, 31(Sup.): 36-40.
Chen C, Tang Z H, Qu J T, et al. Natural resources and application of natural enemy insects in apple orchard in Shaanxi [J]. Journal of Shaanxi Normal University: Natural Science Edition, 2003, 31(Sup.): 36-40. (in Chinese)