双委夜蛾成虫主要活动节律和卵孵化节律*

董少奇[1**] 田彩虹[2] 郭线茹[1] 袁星星[1] 汤金荣[1] 王鑫辉[1] 赵 曼[1***]

（1. 河南农业大学植物保护学院，郑州 450002；2. 河南省农业科学院植物保护研究所，郑州 450002）

摘 要 【**目的**】双委夜蛾 *Athetis dissimilis* 是近年来在我国农田新发现为害的一种害虫，明确其成虫活动节律和卵的孵化节律，可为其预测预报和防治提供依据。【**方法**】在温度（25 ± 1）℃、相对湿度 70% ±5%、光周期 14 L：10 D 环境条件下，观察双委夜蛾的羽化、取食、交配、产卵等行为。【**结果**】双委夜蛾雌虫、雄虫羽化主要发生在化蛹后第 12 天的光期，羽化高峰分别在 13:00-17:00 和 13:00-15:00。取食行为主要发生在羽化后前 2 d，且在暗期取食的个体数（47.08%）显著多于在光期取食的个体数（26.39%）。成虫的交配高峰在羽化后第 3 天，交配主要在暗期 03:00-07:00 进行，交配持续时间 15-90 min，平均 47.33 min，以持续 30-45 min 的个体占比最高，达 34.44%。羽化后第 5 天出现产卵高峰，产卵率达 96.67%，产卵主要发生在暗期 01:00-05:00。卵产出后第 5 天集中孵化，孵化率达 92.04%，孵化高峰期在 17:00-23:00，该时段累计孵化率 64.99%。成虫羽化后第 2 天和第 7 天移动个体的比率较高，分别为 9.72%和 10.16%，每天进入暗期后移动率逐渐升高，进入光期后逐渐降低。不同日龄成虫在光期和暗期均出现较高比例的静息个体，前者平均为 83.67%，后者平均为 64.94%。【**结论**】双委夜蛾成虫羽化、补充营养、交配、产卵、移动、静息等活动行为的昼夜节律明显，可作为其预测预报及防治的依据。

关键词 双委夜蛾；羽化；交配；产卵；昼夜节律

Adult activity and hatching rhythms of *Athetis dissimilis* (Lepidoptera, Noctuidae)

DONG Shao-Qi[1**] TIAN Cai-Hong[2] GUO Xian-Ru[1] YUAN Xing-Xing[1]
TANG Jin-Rong[1] WANG Xin-Hui[1] ZHAO Man[1***]

(1. College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;
2. Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract **[Objectives]** To investigate the adult activity and egg-hatching rhythm of *Athetis dissimilis*, a recently discovered pest in Chinese farmland, and provide a basis for the prediction and control of this species. **[Methods]** The eclosion, feeding, mating, oviposition, and other behavioral rhythms of *A. dissimilis* were observed at (25 ± 1)℃, 70% ± 5% relative humidity, under a 14L：10D photoperiod. **[Results]** Eclosion of female and male *A. dissimilis* generally occurred during the photophase on the 12th day after pupation, with the respective peaks of each sex occurring from 13:00 to 17:00 and 13:00 to 15:00. Adults mainly fed on the first 2 days after pairing, and more adults fed during the scotophase (47.08%) than during the photophase (26.39%). Moreover, most adults mated on the 3rd day after pairing, with the peak of mating activity occurring from 03:00 to 07:00 in the scotophase. Mating duration ranged from 15 to 90 minutes, with an average of 47.33 minutes, with most (34.44%) pairs mating for between 30 and 45 minutes. The peak of oviposition occurred on the 5th day after pairing when 96.67% of females laid eggs, the majority of which were laid from 01:00 to 05:00 during the scotophase. Most (92.04%) eggs hatched on the 5th day after oviposition. The peak of hatching was from 17:00 to 23:00, during which the accumulated hatching rate was 64.99%, significantly higher than that at any other time period. Adult mobility peaked on the 2nd and 7th day after pairing, with 9.72% and 10.16% of adults moving, respectively. The proportion of mobile adults gradually increased

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划项目（2017YFD0201700）

**第一作者 First author，E-mail：shaoqidong316@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：zhaoman821@126.com

收稿日期 Received：2019-12-11；接受日期 Accepted：2020-03-13

during the scotophase, then decreased during the photophase. The proportion of adults of all ages observed resting during the photophase and scotophase was 83.67% and 64.94%, respectively. **[Conclusion]** The eclosion, feeding, mating, oviposition, hatching, moving and resting behaviors of *A. dissimilis* have an obvious circadian rhythm, information that can aid the forecasting and control of this pest.

Key words *Athetis dissimilis*; eclosion; mating; oviposition; circadian rhythm

双委夜蛾 *Athetis dissimilis*（Hampson）属鳞翅目夜蛾科，分布于日本、朝鲜、印度、菲律宾、印度尼西亚和我国台湾等国家和地区（李静雯等，2014；丁金凤等，2017），2012 年首次在我国山东省玉米田发现其幼虫（李静雯等，2014），随后先后在河北、河南、山西、江苏、安徽和北京等省市发现其为害(宋月芹等,2015，2018；王利霞等，2018）。双委夜蛾主要为害玉米，也可为害小麦、花生、大豆、甘薯等作物，其为害特点与二点委夜蛾 *Athetis lepigone* 相似，且二者常混合发生，幼虫藏匿于田间枯枝、落叶或杂草下为害幼苗和茎基部。自我国麦收后夏玉米免耕、贴茬播种等耕作方式推广以来，双委夜蛾逐渐上升为田间重要害虫（李静雯等，2014；段爱菊等，2016；宋月芹等，2018）。许多研究者围绕其形态特征(李静雯等,2014；郭婷婷等，2018；宋月芹等，2018）、人工饲料（赵楠等，2019）、寄主植物（王丽霞等，2018）、温度对实验种群的影响(段爱菊等,2016;郭婷婷等,2016；Guo *et al.*，2017）、化学感应蛋白和气味结合蛋白基因的鉴定（宋月芹等，2015；Dong *et al.*，2016；Sun *et al.*，2016；Liu *et al.*，2019）、化学杀虫剂筛选（丁金凤等，2017；Che *et al.*，2019）等开展了大量研究工作，但对于双委夜蛾基本生物学特性的研究报道相对较少。由于双委夜蛾幼虫具有隐蔽危害的特点，常规化学防治难以达到较好的防治效果，因此研究和掌握其主要生物学特性，可为该虫防治策略的制定和防治技术的研发提供重要依据。

自然环境中，昆虫的羽化、交配、产卵、孵化、取食等生命活动和行为形成了与自然界昼夜变化和季节交替相协调的周期性变化节律，即昼夜节律和季节节律，这些节律具有物种特异性，是昆虫随外界环境的变化而进化出的可遗传的适应机制（孙丽娟等，2002；Allada and Chung，2010；张坤胜等，2012；Horn *et al.*，2019），研究昆虫的这些节律特点是深入开展昆虫生态学、生理学等研究的基础，也是进行害虫监测、预测及防治的重要依据（魏玉红等，2014）。如根据成虫羽化节律、补充营养及交配规律及性信息素释放节律可有效实施灯光诱杀、食诱剂诱杀和信息素诱杀等绿色防控措施（Nascimento *et al.*，2016；修春丽等 2018；Kim *et al.*, 2019；孙晓婷等，2019）；根据卵的日孵化节律，可以确定最适施药时期。如苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* 卵的孵化高峰在 8:00-9:00，14:00 以前卵的孵化量达到 88.6%,因此药剂防治适期应在 9:00 以后 14:00 点以前（魏玉红等，2014）。双委夜蛾为夜蛾科昆虫，在田间对频振式测报灯及一种甜柿子害虫皮暗斑螟 *Euzophera batangensis* 的性信息素具有明显的趋性(段爱菊等,2016；Kim *et al.*, 2016），因此可望利用趋光性和趋化性对其进行监测和防控，但目前对于双委夜蛾成虫主要活动行为的研究很少。本研究系统观察了双委夜蛾雌、雄虫的羽化、补充营养、交配以及产卵等活动行为，分析了其成虫的主要活动节律及卵的孵化节律，期望为双委夜蛾的监测、预测预报及绿色防控策略及方法的制定和实施提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　材料

供试双委夜蛾幼虫由河南省农业科学院植物保护研究所棉花害虫组提供，在养虫室内用人工饲料饲养 10 代后用于试验。化蛹后，根据外部形态特征（郭婷婷等，2018）将雌、雄蛹分开保存，成虫羽化后饲以 10%蜂蜜水。养虫室环境条件为：温度（25 ± 1）℃、相对湿度为 70% ± 5%、光照周期为 14 L：10 D，其中光期设置为每日 07:00-21:00，暗期为 21:00-07:00。

1.2 方法

1.2.1 成虫羽化节律观察 取相同日龄的雌蛹、雄蛹各 100 头，分别放入直径为 15 cm 的玻璃培养皿中，培养皿底部铺一层湿润的滤纸以保湿。之后将培养皿置于塑料养虫笼内，每隔 2 h 观察 1 次，记录羽化的雌虫、雄虫数量并核实是否与蛹期性别鉴定结果相一致，直至成虫全部羽化。每个处理重复 3 次。

1.2.2 成虫活动节律观察 将同日羽化且未进入暗期的雌蛾、雄蛾配对放置于直径 15 cm，高 23 cm 的塑料圆筒杯中，杯底放置一个直径为 3.0 cm 的塑料培养皿，皿内放蘸有 10%蜂蜜水的脱脂棉球以供成虫补充营养，杯口用脱脂棉纱布封紧并作为雌虫的产卵介质。每日在光期成虫静息时更换脱脂棉球。从配对后的第一个暗期开始，参照武承旭等（2016）对斜纹夜蛾成虫活动节律的划分标准，每隔 30 min 观察并记录成虫的取食、交配、产卵等行为。这些行为包括：取食，指成虫喙伸出并接触脱脂棉球取食蜂蜜水；交配，指雌、雄蛾尾部呈 V 字或一字型紧密贴合在一起；产卵，指雌虫腹部弯曲且钟摆式移动并产下卵粒；移动，指成虫在杯内飞行或在杯壁、脱脂棉球和纱布上爬行等活动；静息，指成虫在杯壁、脱脂棉球或纱布上静止不动（交配和产卵除外）。暗期观察在微弱红光下进行以免干扰成虫活动。每对成虫连续观察 7 d，观察期间若雌、雄虫有一方死亡则剔除该组数据。试验重复 3 次，每次有效观察 10 对成虫。

1.2.3 卵孵化节律观察 取同日初产的卵 100 粒，连同产卵介质棉纱布一块放入直径为 12 cm 的玻璃培养皿中，皿底铺有一层湿润的滤纸以保湿，每日定时观察，待其快孵化时（以卵变为灰色为标准），每隔 2 h 观察一次，记录已孵化的卵粒数，直至卵全部孵化。试验重复 3 次。

1.3 数据分析

试验所得数据统计分析均在 SPSS 23.0 软件中进行。成虫的羽化率、取食率、交配率、产卵率以及卵的孵化率等参数经平方根反正弦转换后，再利用单因素方差分析和 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 成虫羽化节律

观察发现，双委夜蛾雌、雄虫羽化从化蛹后第 10 天开始，到化蛹后第 14 天结束，但均集中于化蛹后在第 12 天，当日雌、雄虫的羽化率分别为 94.67%和 91.33%，均极显著高于其它时间（$P < 0.01$）（图 1：A，C）。成虫在光期和暗期均可羽化，以光期 11:00-19:00 羽化最多，该时段雌、雄虫羽化数量分别占总羽化量的 92.71%和 89.85%。其中雌虫羽化高峰在光期 13:00-15:00 和 15:00-17:00，羽化数量分别占总羽化量的 34.11%和 40.11%，极显著高于其它时段的羽化数量（$P < 0.01$）；雄虫羽化高峰在光期 13:00-15:00，其羽化数量占总羽化量的 38.87%，极显著高于其它时段的羽化量（$P < 0.01$）（图 1：B，D）。

2.2 成虫取食节律

双委夜蛾成虫有明显的补充营养行为，补充营养主要发生在羽化后第 1 天和第 2 天。羽化后第 1 天就取食的成虫占 57.50%，羽化后第 2 天取食的成虫达到 77.08%，此后取食的成虫很少，每天只有 20%左右（图 2：A）。成虫昼夜均可取食，以在暗期 21:00-05:00 取食的个体较多，各时段平均取食率为 10.28%。在光期取食的个体较少，平均取食率只有 3.77%，其中在 11:00-13:00 和 15:00-17:00 取食的个体最少，分别只有 1.81%和 2.92%，均显著小于暗期 03:00-05:00 期间 12.36%的取食率（$P < 0.05$）（图 2：B）。

2.3 成虫交配行为节律

双委夜蛾成虫交配行为在羽化后第 2 天至第 6 天均可发生，交配高峰出现在第 3 天，交配率为 73.33%，极显著高于其它日龄个体的交配率（$P < 0.01$）（图 3：A）。交配活动主要发生在暗期。暗期刚开始时（21:00-23:00），只有少数个体交配，随后交配个体逐渐增加；进入暗期

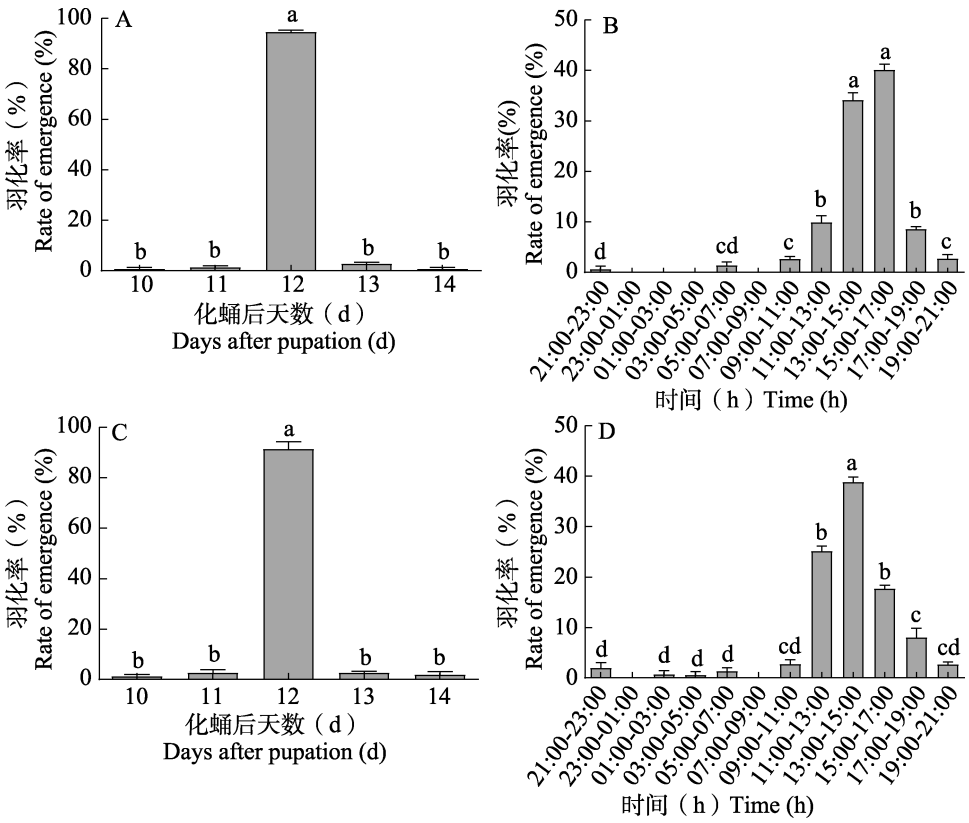

图 1　双委夜蛾成虫羽化节律

Fig. 1　Emergence rhythm of *Athetis dissimilis* adults

图中数据为平均值 ± 标准误，柱上标有不同的小写字母代表不同时间的羽化率在 0.01 水平上差异显著。图 3-图 7 同。

Data are mean ± SE. Histograms with the different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.01$) among the emergence rates of the adults at different times. The same as Fig. 3-Fig. 7.

A. 雌虫逐日羽化率；B. 雌虫羽化昼夜节律；C. 雄虫逐日羽化率；D. 雄虫羽化昼夜节律。

A. Daily emergence rate of females; B. Eclosion circadian rhythm of females; C. Daily emergence rate of males; D. Eclosion circadian rhythm of males.

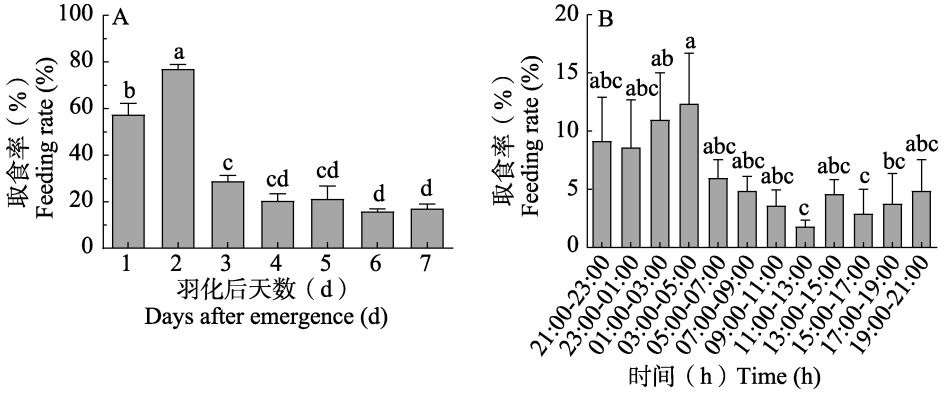

图 2　双委夜蛾成虫补充营养节律

Fig. 2　Complementary nutrition rhythm of adult *Athetis dissimilis*

柱上标有不同的小写字母表示取食率在 0.05 水平上差异显著。

Histograms with the different lowercases letters indicate the significant difference ($P < 0.05$) among the feeding rates of the moths at different times.

A. 不同日龄成虫的取食率；B. 取食昼夜节律。

A. Feeding rate of adults at different ages; B. Feeding circadian rhythm.

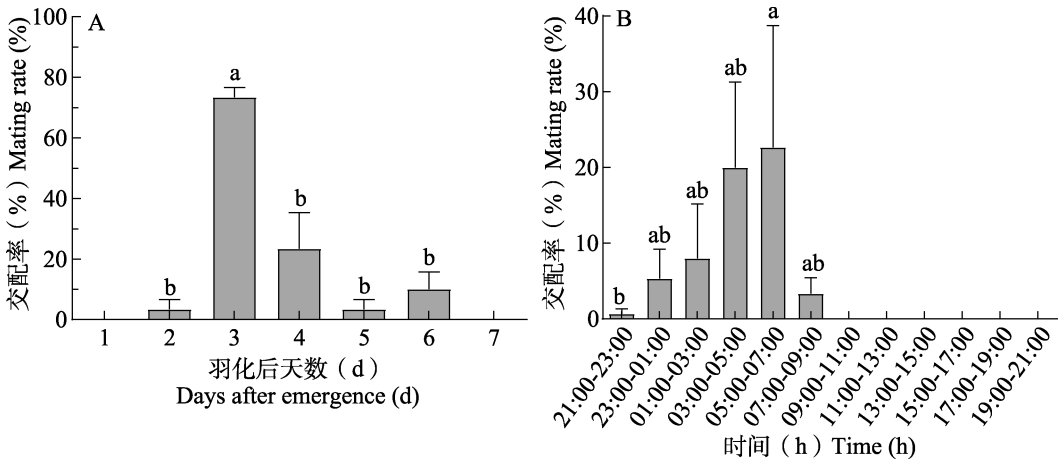

图 3　双委夜蛾成虫交配行为节律

Fig. 3　Mating behavior rhythm of adult *Athetis dissimilis*

A. 逐日交配率；B. 交配昼夜节律。

A. Daily mating rate; B. Mating circadian rhythm.

6-10 h 时，即 03:00-05:00 和 05:00-07:00，交配活动达到高峰，这两个阶段成虫的交配率分别为 20.00% 和 22.67%；暗期结束后短暂时间（07:00-09:00），仍有少数个体交配，但交配率只有 3.34%（图 3：B）。

成虫交配持续时间短的约 15 min，长的达 105 min，平均（47.33 ± 2.24） min。其中以交配时间持续 30-45 min 的成虫最多，占 34.44 %，极显著高于其它交配持续时间的个体比率（$P < 0.01$）；交配持续时间在 45-60 min、60-75 min 和 15-30 min 的成虫数量分别占 20.00%、20.00% 和 13.33%，三者之间差异不显著（$P > 0.05$）；交配持续时间为 75-90 min 和大于 90 min 的成虫数量分别仅有 7.78%和 1.11%（图 4）。

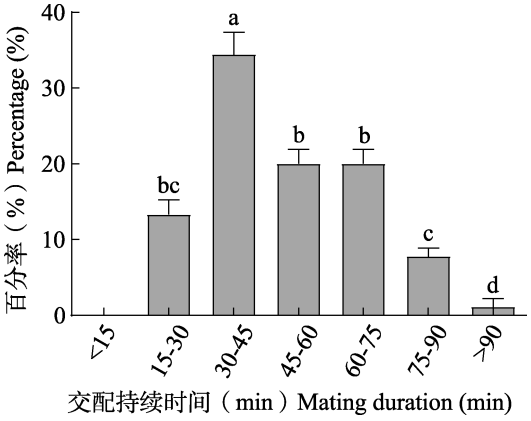

图 4　双委夜蛾羽化后 7 d 内交配持续时间的发生概率分布（*n* = 60）

Fig. 4　Distribution of mating durations of *Athetis dissimilis* during the first 7 days after emergence (*n* = 60)

2.4　成虫产卵行为节律

双委夜蛾雌虫的产卵始期为配对后第 3 天，也即羽化后第 3 天，雌蛾平均产卵率为 3.33%；第 4 天进入产卵始盛期，产卵率为 43.33%；第 5 天进入高峰期，产卵率达 96.67%；第 6 天和第 7 天，产卵率逐渐减少（图 5：A）。产卵行为均发生在暗期及暗期开始后 2 h，暗期开始 4 h 后达到产卵高峰，进入暗期 5-8 h 时，即 01:00-05:00，产卵活动最盛，雌蛾产卵率分别达 30.00%和 38.00%，极显著高于其它时段成虫的产卵率（$P < 0.01$）。暗期结束前 2 h（即 05:00-07:00）和暗期开始前 2 h（即 19:00-21:00）虽有产卵活动，但成虫产卵率很低（图 5：B）。

2.5　孵化节律

在 25 ℃条件下，双委夜蛾的卵在产出后第 5 天和第 6 天全部孵化，其中第 5 天孵化率高达 92.04%，第 6 天孵化率 7.96%（图 6：A）。孵化出现在 13:00-03:00，其中光期（13:00-21:00）累计孵化率为 59.96%，暗期（21:00-03:00）累计孵化率为 40.04%；孵化高峰在 17:00-23:00，这期间各时段的孵化率平均为 21.66%，极显著高于其它时段内的孵化率（$P < 0.01$）（图 6：B）。

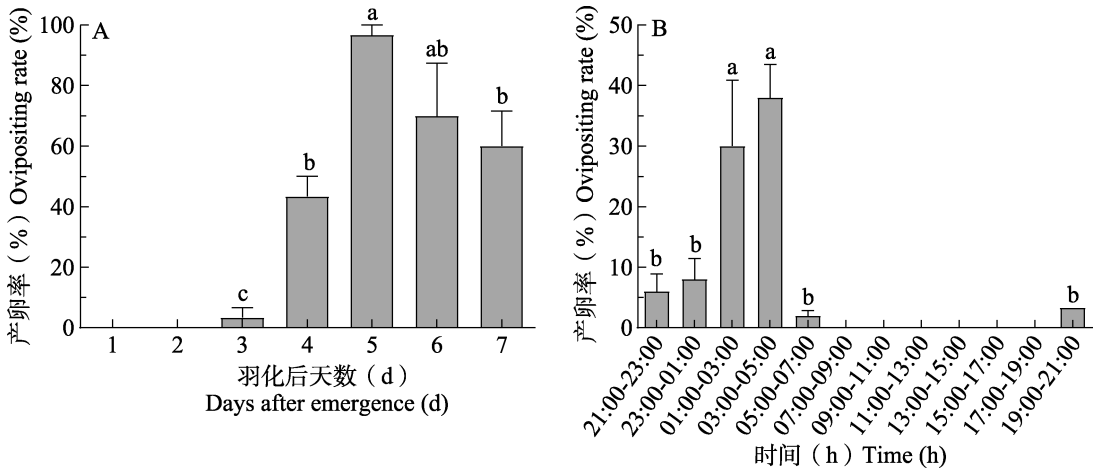

图 5　双委夜蛾成虫产卵行为节律

Fig. 5　Oviposition rhythm of *Athetis dissimilis* adults

A. 逐日产卵率；B. 产卵昼夜节律。

A. Daily oviposition rate; B. Ovipositing circadian rhythm.

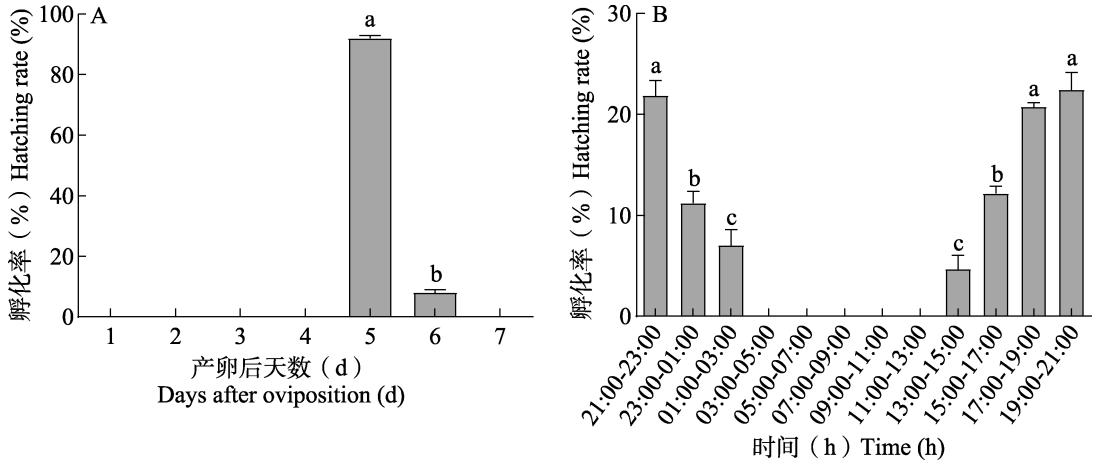

图 6　双委夜蛾卵孵化节律

Fig. 6　Hatching rhythm of eggs of *Athetis dissimilis*

A. 逐日孵化率；B. 孵化昼夜节律。

A. Daily hatching rate; B. Hatching circadian rhythm.

2.6　成虫移动和静息行为节律

除取食、交配、产卵等活动外，双委夜蛾成虫移动行为较少，大多处于静息状态。羽化后第 1 天至第 7 天，移动的个体比率为 3.73%-10.16%，平均每天只有 7.39%，以羽化后第 2 天和第 7 天移动的个体较多，分别占 9.72%和 10.16%，极显著高于其它日龄成虫移动个体的比率（$P < 0.01$）（图 7：A）。从昼夜活动特点看，进入暗期后移动个体比率逐渐升高，05:00-07:00 时达到高峰（21.53%），光期开始后逐渐降低（图 7：B）。成虫羽化后前 5 d 静息个体占 70.67%-74.07%，第 6 天升高至 80.69%，之后复又降低（图 7：C）；静息行为主要发生在 09:00-次日 01:00，静息率平均为 83.91%，整个光期出现静息现象的成虫数量平均为 83.67%。暗期开始后静息个体比率逐渐减小，至 03:00-05:00 降至最低，暗期出现静息行为的成虫数量平均为 64.94%（图 7：D）。

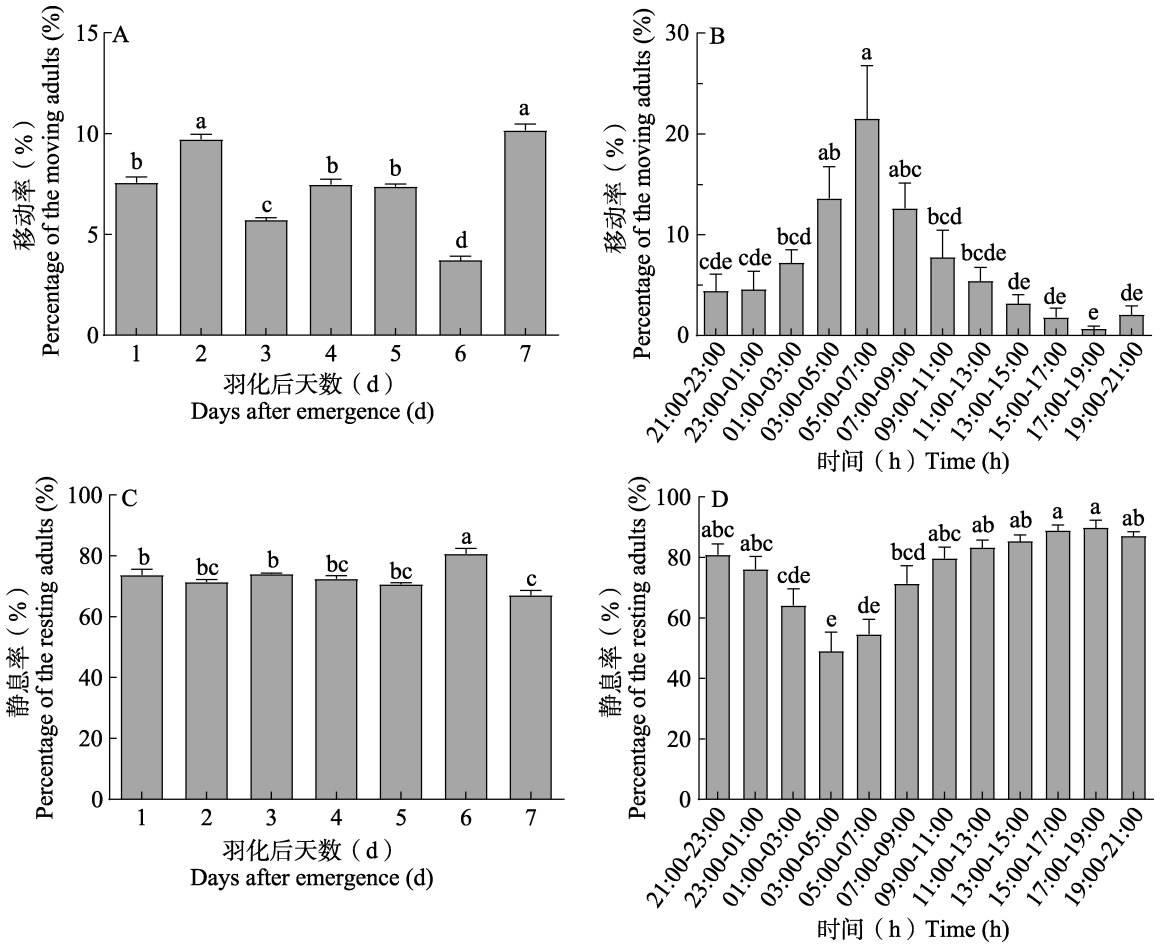

图 7　双委夜蛾成虫移动和静息行为节律

Fig. 7　Moving and resting behavior rhythm of *Athetis dissimilis* adults

A. 不同日龄成虫的移动率；B. 移动昼夜节律；C. 不同日龄成虫的静息率；D. 静息昼夜节律。

A. Percentage of the moving adults at different stage; B. Circadian rhythm of moving behavior; C. Percentage of the resting adults at different stage; D. Circadian rhythm of resting behavior.

3　结论与讨论

鳞翅目昆虫的羽化、补充营养、交配、产卵等许多行为活动会随昼夜更替和季节变换表现出一定的节律性（涂小云和陈元生，2013a）。本研究发现，在 25 ℃、14L：10D 光周期环境中，双委夜蛾雌、雄虫羽化从化蛹后第 10 天开始至第 14 天结束，羽化高峰集中于第 12 天，成虫主要在光期 13:00-17:00 羽化，这与大部分蛾类成虫如同为夜蛾科的棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 和甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 等主要在暗期羽化（李建勋等，2008；孙晓婷等，2019）的行为不同，说明即使同一科的昆虫，其羽化节律也存在种间差异，还有研究显示，即使是同一种昆虫，其羽化节律也会因取食的寄主植物种类不同而呈现一定差异（孙丽娟等，2002；武承旭等，2015）。因此只有准确把握不同种类农业害虫的羽化节律，才能对其进行精准防治。

补充营养是鳞翅目很多昆虫所具有的习性。本研究发现，双委夜蛾成虫羽化后就开始取食补充营养，第 2 天达到补充营养高峰。成虫在光期和暗期均可取食，但以暗期 03:00-05:00 居多。补充营养高峰后出现交配高峰（羽化后第 3 天），交配主要发生在暗期 05:00-07:00，这种现象与观察到的羽化后第 2 天暗期出现的一个移动行为高峰相吻合，即双委夜蛾成虫在交配前一天出现

了明显的取食行为，说明补充营养对双委夜蛾的繁殖具有重要作用，这种现象在斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 中也有发现(武承旭等, 2016)。究竟是双委夜蛾羽化后卵细胞处于未成熟状态、需要补充营养以促进其卵巢发育成熟（Zalucki *et al.*，1986；王竑晟等，2004），还是补充营养仅仅是为成虫寻找配偶提供能量物质, 这还需要进一步试验确证。双委夜蛾羽化后第 3 天出现交配高峰, 之后交配率明显下降, 这与二点委夜蛾、竹笋基夜蛾 *Kumasia kumaso* 等夜蛾科昆虫成虫交配行为在配对后第 2 天和第 3 天达到高峰的变化规律基本一致, 而与甜菜夜蛾在羽化后第 1 天便达到交配高峰的现象有所不同, 说明同一科昆虫的交配高峰期也存在种间特异性（罗礼智等，2003；王玉强等，2011）。双委夜蛾成虫交配持续时间主要集中在 15-75 min（87.78%），这与二点委夜蛾和甜菜夜蛾相似（罗礼智等，2003；王玉强等，2011）。

双委夜蛾羽化后第 3 天开始产卵, 第 5 天达到产卵高峰。暗期前 2 h 成虫开始产卵，直至暗期结束，以暗期 01:00-05:00 产卵率最高，在其他光期期间不产卵，这与毛健夜蛾 *Brithys crini* 等鳞翅目昆虫偏好在夜间产卵的习性一致(涂小云和陈元生，2013b）。在产卵高峰时，双委夜蛾成虫出现了一个移动行为次高峰（暗期 03:00-05:00），这可能是成虫为了寻找合适的产卵场所。观察还发现，双委夜蛾成虫静息行为发生率一直处于较高水平（大于 67.14%），尤其是在光期, 这与很多蛾类昆虫喜好在夜间活动的行为相似。

本试验系统观察并分析了双委夜蛾成虫的主要行为活动节律, 发现成虫具有明显的羽化高峰，且集中在光期羽化，羽化后前两天在暗期具有明显的补充营养行为, 羽化后第 3 天出现交配高峰，交配主要在暗期进行。这些结果为灯光诱杀、食诱剂和性信息素诱杀等防治技术的研究和实施提供了依据。本研究还发现，成虫羽化后第 4 天进入产卵始盛期，第 5 天进入产卵高峰期，为该种害虫的预测预报提供了参考依据。今后尚需对其趋光性及性信息素释放节律、活性成分等进行鉴定研究, 以更好地指导双委夜蛾的预测预报及防治。

致谢：河南农业大学植物保护学院 2016 级制药工程专业张越、赵晓阳、刘桂阳、李想、杨浩朕、裴诗迪、肖瑶和植物检疫专业王慧林等同学在该试验中予以帮助，特此感谢!

参考文献 (References)

Allada B, Chung BY, 2010. Circadian organization of behavior and physiology in *Drosophila*. *Annual Review of Physiology*, 72: 605–624.

Che ZP, Tian Y, Yang JM, Liu SM, Jiang J, Hu M, Chen GQ, 2019. Screening of insecticidal activity of podophyllotoxin analogues against *Athetis dissimilis*. *Natural Product Communication*, 14(1): 117–120.

Ding JF, Zhao YH, Li BX, Liu F, Mu W, 2017. Sensitivities and toxic symptoms of *Athetis dissimilis* (Hampson) to different insecticides. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 19(4): 441–448. [丁金凤, 赵云贺, 李北兴, 刘峰, 慕卫, 2017. 双委夜蛾幼虫对不同类别杀虫剂的敏感性及中毒症状. 农药学学报, 19(4): 441–448.]

Dong JF, Song YQ, Li WL, Shi J, Wang ZY, 2016. Identification of putative chemosensory receptor genes from the *Athetis dissimilis* antennal transcriptome. *PLoS ONE*, 11(1): e0147768.

Duan AJ, Wang SZ, Wang LX, Liu CY, Liu ST, Han RH, Zhang ZQ, 2016. Effects of temperature on some ecological characteristics of a laboratory population of *Athetis dissimilis* (Hampson). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(6): 1346–1352. [段爱菊, 王淑枝, 王利霞, 刘长营, 刘顺通, 韩瑞华, 张自启, 2016. 温度对双委夜蛾种群生态学特征的影响. 应用昆虫学报, 53(6): 1346–1352.]

Guo TT, Li LL, Men XY, Lu ZB, Chen H, Wang ZY, Sun TL, Yu Y, 2017. Impact of temperature on the growth and development of *Athetis dissimilis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 110(1): 274–281.

Guo TT, Men XY, Chen SY, Zhao CM, Zhang SC, Lu ZB, Yu Y, Zhang AS, Li LL, 2018. A method for rapid sex-determination of pupae and adults of *Athetis dissimilis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Shandong Agricultural Sciences*, 50(10): 116–119. [郭婷婷, 门兴元, 陈赛月, 赵传敏, 张思聪, 卢增斌, 于毅, 张安盛, 李丽莉, 2018. 一种快速鉴别双委夜蛾蛹和成虫雌雄的方法. 山东农业科学, 50(10): 116–119.]

Guo TT, Men XY, Yu Y, Chen H, Zhou XH, Zhuang QY, Wang ZY, Li LL, 2016. Effects of temperature on the development and

reproduction of *Athetis dissimilis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 59(8): 865–870. [郭婷婷, 门兴元, 于毅, 陈浩, 周仙红, 庄乾营, 王振营, 李丽莉, 2016. 温度对双委夜蛾实验种群生长发育及繁殖的影响. 昆虫学报, 59(8): 865–870.]

Horn M, Mitesser O, Hovestadt T, Yoshii T, Rieger D, Helfrich-Förster C, 2019. The circadian clock improves fitness in the fruit fly, *Drosophila melanogaster*. *Frontiers in Physiology*, 10: 1374.

Kim J, Byun BK, Oh HW, Jang SA, Park CG, 2016. *Athetis dissimilis* (Lepidoptera: Noctuidae) is attracted to the sex pheromone of *Euzophera batangensis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Asia-Pacifific Entomology*, 3(19): 841–845.

Kim KN, Huang QY, Lei CL, 2019. Advances in insect phototaxis and application to pest management: A review. *Pest Management Science*, 75(12): 3135–3143.

Li JW, Yu Y, Zhang AS, Men XY, Zhou XH, Zhai YF, Zhuang QY, Wang ZY, Li LL, 2014. Morphologically alike species of *Athetis lepigone* (Moschler)-*Athetis dissimilis* (Hampson) found in Shandong province of China. *Plant Protection*, 40(6): 193–195. [李静雯, 于毅, 张安盛, 门兴元, 周仙红, 翟一凡, 庄乾营, 王振营, 李丽莉, 2014. 山东省发现二点委夜蛾近似种——双委夜蛾. 植物保护, 40(6): 193–195.]

Li JX, Li J, Cheng WX, Liu YL, Liu H, Wang JJ, 2008. The bionomics of adult beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 24(5): 318–322.[李建勋, 李娟, 程伟霞, 刘雅丽, 刘怀, 王进军, 2008. 甜菜夜蛾成虫生物学特性研究. 中国农学通报, 24(5): 318–322.]

Liu XL, Sun SJ, Khuhro SA, Elzaki MEA, Yan Q, Dong SL, 2019. Functional characterization of pheromone receptors in the moth *Athetis dissimilis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 158: 69–76.

Luo LZ, Cao WJ, Qian K, Hu Y, 2003. Mating behavior and capacity of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 46(4): 494–499. [罗礼智, 曹卫菊, 钱坤, 胡毅, 2003. 甜菜夜蛾交配行为和能力. 昆虫学报, 46(4): 494–499.]

Nascimento ES, Ambrogi BG, Pinto-Zevallos DM, Sousa-Souto L, 2016. Age-dependent pattern of calling behavior in *Atheloca subrufella* (Hulst) (Lepidoptera: Phycitidae). *Journal of Insect Behavior*, 29(2): 190–198.

Song YQ, Li WL, Liu ST, Sun HZ, Shi J, Dong JF, 2015. Cloning, molecular characteristics and expression pattern of the olfactory receptor co-receptor gene of *Athetis dissimilis*. *Journal of Plant Protection*, 42(6): 997–1003. [宋月芹, 李文亮, 刘顺通, 孙会忠, 石洁, 董钧锋, 2015. 双委夜蛾非典型嗅觉受体 Orco 的克隆、分子特征及表达. 植物保护学报, 42(6): 997–1003.]

Song YQ, Dong JF, Sun HZ, 2018. Scanning electron microscopic observation on antennal sensilla of *Athetis dissimilis*. *J. Chin. Electr. Microsc. Soc.*, 37(1): 77–83. [宋月芹, 董钧锋, 孙会忠, 2018. 双委夜蛾触角感器的扫描电镜观察. 电子显微学报, 37(1): 77–83.]

Sun HZ, Song YQ, Du J, Wang XD, Cheng ZJ, 2016. Identification and tissue distribution of chemosensory protein and odorant binding protein genes in *Athetis dissimilis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Applied Entomology & Zoology*, 51(3): 409–420.

Sun LJ, Dai HG, Yi WX, Lu YQ, 2002. The adult emergence rhythm and mating rhythm of rice host population and water-oats host population of the rice stem borer, *Chilo suppressalis*. *Entomological Knowledge*, 39(6): 421–423. [孙丽娟, 戴华国, 衣维贤, 陆永钦, 2002. 二化螟水稻类群与茭白类群成虫羽化节律和交配节律研究. 昆虫知识, 39(6): 421–423.]

Sun XT, Xu RB, Ge SS, Fu XW, Zhao XC, Wu KM, 2019. Effects of photoperiod on the eclosion, reproduction and flight performance of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Environmental Entomology*, 41(5): 1045–1056. [孙晓婷, 徐瑞斌, 葛世帅, 付晓伟, 赵新成, 吴孔明, 2019. 光周期对棉铃虫羽化、生殖和飞行的影响. 环境昆虫学报, 41(5): 1045–1056.]

Tu XY, Chen YS, 2013a. Circadian behavioral rhythms in moths. *Biological Disaster Science*, 36(1): 18–21. [涂小云, 陈元生, 2013a. 蛾类昆虫行为节律. 生物灾害科学, 36(1): 18–21.]

Tu XY, Chen YS, 2013b. Circadian rhythmic behavior of *Brithys crini*. *Plant Protection*, 39(1): 85–88. [涂小云, 陈元生, 2013b. 毛健夜蛾昼夜节律行为. 植物保护, 39(1): 85–88.]

Wang HS, Xu HF, Cui F, 2004. Effect of adult foods on fecundity and ovary development of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner). *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 17(1): 34–37. [王竑晟, 徐洪富, 崔峰, 2004. 成虫期营养对甜菜夜蛾生殖力及卵巢发育的影响. 西南农业学报, 17(1): 34–37.]

Wang LX, Duan AJ, Wang SZ, Han RH, Liu ST, 2018. Comparison of the life table parameters of *Athetis dissimilis* on five host plants. *China Plant Protection*, 38(5): 32–35. [王利霞, 段爱菊, 王淑枝, 韩瑞华, 刘顺通, 2018. 双委夜蛾在五种寄主植物上的生命表参数比较. 中国植保导刊, 38(5): 32–35.]

Wang YQ, Li LT, Liu L, Gan YJ, Dong ZP, Ma JF, 2011. Mating behavior and fecundity of *Athetis lepigone*. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 15(9): 4–6. [王玉强, 李立涛, 刘磊, 甘耀进, 董志平, 马继芳, 2011. 二点委夜蛾的交配行为与产卵量. 河北农业科学, 15(9): 4–6.]

Wei YH, Luo JC, LiU YY, Zhou ZX, Zhang DW, 2014. Circadian rhythm of adult eclosion, oviposition and hatching in the codling

moth, *Cydia pomonella*. *Plant Protection*, 40(3): 143–146. [魏玉红, 罗进仓, 刘月英, 周昭旭, 张大为, 2014. 苹果蠹蛾羽化产卵及卵孵化的昼夜节律. 植物保护, 40(3): 43–146.]

Wu CX, Yang MF, Yao MM, Zeng ZH, 2016. Diurnal activity rhythm and time budgets of adult behavior of *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) after paired. *Journal of Plant Protection*, 43(6): 979–985. [武承旭, 杨茂发, 姚苗苗, 曾昭华, 2016. 斜纹夜蛾雌雄配对后成虫活动行为节律及时间分配. 植物保护学报, 43(6): 979–985.]

Wu CX, Yang MF, Zeng ZH, Yao MM, Liao QR, 2015. Diurnal rhythm of reproductive behavior of cotton leafworm *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) feeding on different hosts. *Journal of Plant Protection*, 42(2): 210–216. [武承旭, 杨茂发, 曾昭华, 姚苗苗, 廖启荣, 2015. 斜纹夜蛾成虫在不同寄主上的繁殖行为日节律. 植物保护学报, 42(2): 210–216.]

Xiu CL, Li AL, Lu W, Liu Z, Lu YH, 2018. The effectiveness of using food attractant to lure cotton bollworm moths into traps under field conditions. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(1): 44–48. [修春丽, 栗爱丽, 路伟, 刘政, 陆宴辉, 2018. 棉铃虫食诱剂的田间诱捕效果. 应用昆虫学报, 55(1): 44–48.]

Zalucki MP, Daglish G, Firempong S, Twine P, 1986. The biology and ecology of *Heliothis armigera* (Hůbner) and *Heliothis punctigera* Wallengren (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia. What do we know? *Australian Journal of Zoology*, 34(6): 779–814.

Zhang KS, Yang W, Zhuo ZH, Deng ZB, Yang CP, Yang H, Zhou JH, Xiao YB, Jia YZ, 2012. Reproduction behavior and circadian rhythm of sex pheromone production and release in *Parocneria orienta* (Lepidoptera: Lymantriidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(1): 46–54. [张坤胜, 杨伟, 卓志航, 邓忠彬, 杨春平, 杨桦, 周建华, 肖银波, 2012. 贾玉珍蜀柏毒蛾生殖行为及性信息素产生与释放节律. 昆虫学报, 55(1): 46–54.]

Zhao N, Wang P, Li JW, Men XY, Zhang Y, Yu Y, Zhang SC, Li LL, 2019. Effects of different foodstuffs on growth，development and reproduction of *Athetis dissimilis* (Hampson). *Shandong Agricultural Sciences*, 51(8): 97–99. [赵楠, 王鹏, 李静雯, 门兴元, 张艳, 于毅, 张思聪, 李丽莉, 2019. 不同食料对双委夜蛾生长发育和繁殖的影响. 山东农业科学, 51(8): 97–99.]