葱兰夜蛾雌雄鉴定和交配行为*

胡可炎[1**] 邓创创[1] 苑鹏宇[1] 刘春燕[2] 温秀军[1***] 马 涛[1***]

（1. 华南农业大学林学与风景园林学院，广州 510642；2. 广东省森林资源保育中心，广州 510130）

摘 要 **【目的】** 建立一种准确快速区分葱兰夜蛾 *Brithys crini* 蛹和成虫性别的方法，掌握葱兰夜蛾的生殖行为节律，为进一步开展该虫性信息素的鉴定提供科学指导。**【方法】** 在室内饲养观察并测量蛹的长、宽和体重 3 个指标，确定最佳性别区分方法；研究不同日龄下成虫交配行为规律，以及交配史对成虫产卵、寿命的影响。**【结果】** 葱兰夜蛾雌雄蛹差异明显，雌蛹生殖孔位于第 8 和第 9 腹节，第 8 腹节不愈合；雄蛹生殖孔仅位于第 9 腹节上，且生殖孔两侧有明显的半圆形突起。雌蛾腹部较为粗大，末端附着的黑色毛簇短而少；雄蛾腹部狭长，其末端附着有一圈黑色长毛簇。交配行为开始于暗期 4 h 后，6–9 h 达到高峰，雌雄成虫交尾率为 44.00%。1 日龄雌蛾即可进行交尾且生殖行为最活跃，交尾率、交尾时长均与日龄呈负相关关系。交尾雌蛾的产卵率和产卵量都大于未交尾雌蛾。相同生殖状态下雌虫平均寿命大于雄虫，但是不同处理雌雄成虫的寿命无显著性差异。**【结论】** 葱兰夜蛾可以通过蛹的生殖孔和成虫的腹部末端差异区分。交配行为的变化规律与成虫日龄密切相关，两者间具有一定时间上的协调性。交配行为显著影响雌蛾的产卵量（$P<0.05$），对成虫寿命也有一定影响。

关键词 葱兰夜蛾；蛹；性别鉴定；交配；产卵

Distinguishing the sexes and reproductive behavior of *Brithys crini* (Lepidoptera: Noctuidae)

HU Ke-Yan[1**] DENG Chuang-Chuang[1] YUAN Peng-Yu[1] LIU Chun-Yan[2]

WEN Xiu-Jun[1***] MA Tao[1***]

(1. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;
2. Forest Resources Conservation Center of Guangdong Province, Guangzhou 510130, China)

Abstract **[Objectives]** To develop a way of accurately, and quickly, distinguishing the sex of *Brithys crini* pupae and adults, and determine the daily timing of reproductive behavior in this pest. [**Methods**] The length, width and weight of pupae were measured and the sex of emergent adults recorded. In addition, the courtship and mating behavior of adults of different ages were studied. [**Results**] Female pupae have genital pores on the 8th and 9th ventral segments, and the 8th ventral segment does not heal. The genital pore of male pupae is located on the 9th abdominal segment, and there are obvious semicircular protuberances on either side of the genital pore. Courtship and mating behavior occurred during the dark phase of the photoperiod. Female courtship behavior began 2 hours after dark, and peaked 4 to 8 hours after dark. Females began mating 4 hours after dark, and mating reached its peak 6 to 9 hours after dark. Females began to display courtship behavior at 1 day of age. The older the adult, the lower the mating rate but the longer the mating time. Females could lay eggs in different reproductive states. The life span of adult females was longer than that of males in the same reproductive state. [**Conclusion**] The sex identification of *B. crini* pupae could be distinguished by the difference of genital pore. The courtship and mating behaviors are closely related to the age of adults, and there is a certain time coordination between them. The mating behavior could significantly affect the number of eggs and longevity of adults.

Key words *Brithys crini*; pupa; sex identification; mating; oviposition

---

*资助项目 Supported projects：校企合作项目（4400-H220365）；广东省科技计划项目（2020A1414010131）

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

***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：wenxiujun@scau.edu.cn；matao@scau.edu.cn

收稿日期 Received：2022-10-28；接受日期 Accepted：2023-02-20

世界已知夜蛾种类超过 3.5 万余种，中国已有记载夜蛾科昆虫近 4 000 种(申效诚等,2007)，其中大多数为危害农林作物的重要害虫,像草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*、棉铃虫 *Heliothis armigera* 等，其幼虫危害范围广，爆发力度强，每年对我国农林等经济作物均造成巨大的经济损失（吴孔明，2020；姜玉英等，2021)。由于这些害虫幼虫危害严重,传统的化学防治方法容易引起“3R”现象，而利用昆虫信息素制成引诱剂、迷向丝等产品进行害虫的大量诱捕和干扰交配，可以实现害虫的无公害防治（马涛等，2018)。因此，通过前期对昆虫蛹进行雌雄区分、研究其生殖行为节律，可以稳定地获得处女雌蛾，准确掌握提取雌蛾性腺粗提物的时机，为下一步性信息素鉴定提供科学指导。

葱兰夜蛾 *Brithys crini* 属于鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae，国外见报道于印度、缅甸、斯里兰卡、日本等地。国内有报道在上海 1 年发生 3 代，存在世代重叠现象，以蛹在地下越冬，第二年 5 月初开始陆续羽化（李新巾等，2005)；在汕头 1 年发生 5 代，以蛹越冬，翌年 3 月下旬至 5 月上旬羽化、交配和产卵(纪燕玲等,2011)；在深圳每年都有。该虫以幼虫钻蛀、取食寄主植物花、叶、茎秆，造成其叶片糜烂，植株倒伏，影响植物生长，主要危害葱兰 *Zephyranthes candida*、水鬼蕉 *Hymenocallis littoralis*、文殊兰 *Crinum asiaticum* 等石蒜科植物（于炜等，2009；黄威廉，2013；季宇彬等，2016)。由于石蒜科植物常用来作为公园造景、城市道路绿化的主要植物，因此该虫的危害极大影响了植物的观察价值。

目前,国内关于葱兰夜蛾的研究主要集中于形态学特性、危害规律和化学防治方法等方面（于炜等，2009；涂小云和陈元生，2013)，尚无报道该害虫蛹和成虫雌雄的准确鉴定方法,对其生殖行为的研究较少。本文对深圳地区葱兰夜蛾蛹和成虫形态特征、成虫活动进行细致观察，旨在为准确获得处女雌蛾,同时为该虫信息素的研究提供可靠的生殖节律数据,进而为绿色调控葱兰夜蛾的危害提供科学理论基础。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

实验虫源采自深圳湾公园（22°52′N，114°00′E)。实验室暗室饲养条件如下：温度 26-28 ℃,相对湿度 70%-80%,光暗周期 12 L∶12 D,其中光期 6:00–18:00，暗期 18:00–6:00。每天清理老叶和虫粪，更换新鲜的水鬼蕉叶片，将即将进入预蛹状态的幼虫挑出，放到铺有厚约 5 cm 湿润沙土的饭盒中（24 cm×29 cm×11 cm)。观察到有幼虫化蛹后,每天将沙土中当天产生的蛹移出，集中放置，并做好日期标记。羽化后按性别和日龄分开饲养(从羽化到首个暗期结束为 1 日龄)，所有用于实验的成虫每天饲喂浓度为 10% 蜂蜜水。

1.2　蛹特征观察和体型测量

在体视显微镜下观察虫蛹的腹部特征,根据观察到的腹部特征差异和已有的夜蛾科昆虫雌雄蛹鉴定的相关报道将蛹区分为雌雄两类(赵晓峰等，2016；陆雪雷等，2017；董前进等，2019)。使用游标卡尺测量裸蛹的蛹长与蛹宽,使用万分之一分析天平测量蛹重。待羽化后收集成虫再次进行观察与性别区分，以验证鉴定的准确性。

1.3　交尾行为观察

通过预实验获知葱兰夜蛾性行为都在暗期内进行。因此，将同日羽化的雌雄成虫一对放入 2 200 mL 塑料盒中饲养并进行观察记录,共设置 5 组重复，每组重复 10 对成虫，共 50 对成虫，每天 18:00 进入暗期后，使用红光手电筒辅助观察其交尾行为，记录其交尾开始时间与结束时间，每隔 30 min 记录一次，直到全部雌蛾交尾结束为止。

1.4　产卵行为与产卵量

由于设定光期开始到暗期结束为 1 日龄，且每头雌蛾单独饲养，所以刚进入光期时统计每头雌蛾的产卵情况，作为前 1 日龄雌蛾的产

卵数据。交尾与未交尾雌蛾各设置 3 组重复，每组重复 10 头雌蛾，产卵率计算方法同上述交尾率。

1.5 成虫寿命

将雌雄各 50 头新羽化成虫每头单独放置在 500 mL 透明塑料圆形饭盒内进行饲养并记录其羽化日期，每日观察成虫死亡情况并做好记录，以此作为未交尾雌雄成虫的寿命统计数据。同样地，对已交尾雌雄成虫进行每日死亡情况记录，作为交尾雌雄成虫的寿命统计数据。

1.6 数据处理

交尾持续时间：交尾开始至结束的时间间隔；每日龄雌蛾的交尾时长等于当天发生交尾行为的雌蛾交尾持续时间的平均值，交尾持续时间即结束时间减去开始时间；交尾率 = 交尾数量/总数 × 100%，根据得到的每组重复的交尾率计算平均值和标准误（产卵率以同样的方法计算）。所有数据使用 Excel 2019 进行统计和作图，通过 SPSS 22.0 进行方差分析并使用最小显著性差异法（LSD）进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 性别鉴定

雌蛹第 8 腹节不愈合，其腹板中央有一细沟为交配囊孔，第 8 腹节腹面中央的短粗沟为生殖孔。雄蛹第 8 腹节愈合，生殖孔位于第 9 腹节，两侧各有一个半圆形瘤状突起；雌雄蛹臀部末端均有 1 对臀棘（图 1）。雌雄蛹形态特征区别明显，在蛹长、蛹宽和蛹重 3 项体型数据上，都存在显著性差异（P<0.05）（表 1）。其中，雌蛹的长宽比为 2.98∶1，雄蛹的长宽比为 2.96∶1；雌雄蛹长比为 1.06∶1，蛹宽比为 1.05∶1，蛹重比为 1.42∶1。雌蛹体型稍大于雄蛹，但是雄蛹在蛹长、蛹宽和蛹重这 3 项体型数据上的最大值要大于雌蛹对应数值的最小值。

成虫触角丝状，体被灰色至黑色鳞片，前翅灰黑色，近外缘有一条较宽的棕色带，后翅前缘到外缘黑色，基部与后缘为灰白色。从成虫背面照可以看出，雌蛾体长要大于雄蛾，且雌蛾腹部末端超出了翅膀的覆盖范围，而雄蛾腹部基本被翅膀覆盖（图 2：A）。雌雄成虫在体色上区别不大，翅展长度相近，两者的触角发达程度肉眼无

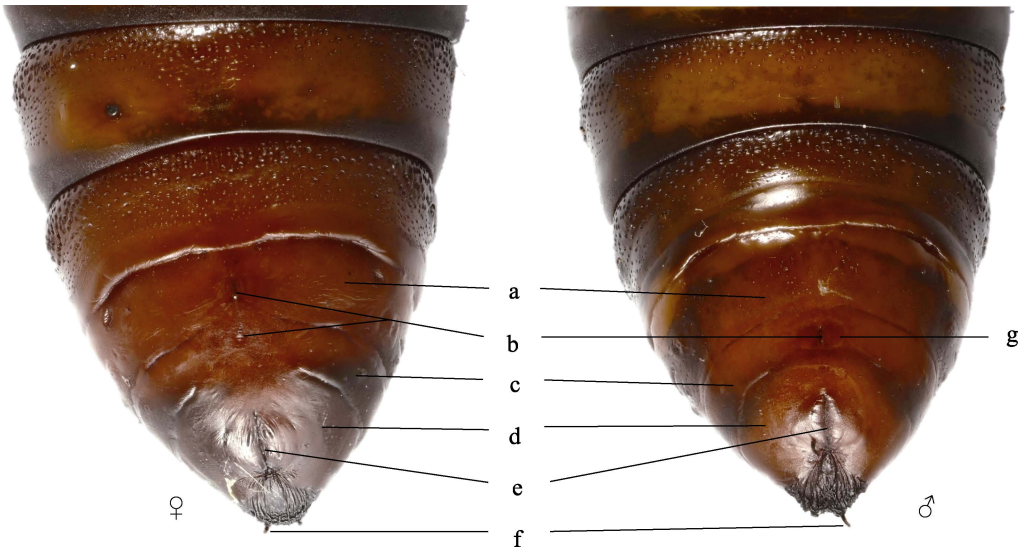


图 1 葱兰夜蛾雌雄蛹的腹部细节

Fig. 1 Abdomen detail of *Brithys crini* pupae

a：第 8 腹节；b：生殖孔（产卵孔）；c：第 9 腹节；d：第 10 腹节；e：肛门；f：臀棘；g：瘤状突起。

a: The 8th abdominal segment; b: Genital pore (Oviporus) ; c: The 9th abdominal segment; d: The 10th abdominal segment; e: Anus; f: Hip thorn; g: Lump.

表 1　葱兰夜蛾虫蛹的体型数据

Table 1　Morphological characteristics data of *Brithys crini* pupa

性别 Sex	蛹长（mm）Length (mm)			蛹宽（mm）Width (mm)			蛹重（g）Weight (g)		
	最小值 Min.	最大值 Max.	均值±标准误差 Mean±SE	最小值 Min.	最大值 Max.	均值±标准误差 Mean±SE	最小值 Min.	最大值 Max.	均值±标准误差 Mean±SE
♀	16.23	23.58	20.152±0.134 a	5.52	7.92	7.038±0.046 a	0.258 6	0.7623	0.512±0.009 a
♂	16.37	22.22	19.231±0.097 b	5.31	7.51	6.417±0.036 b	0.272 2	0.5364	0.404±0.005 b

表中数值表示平均值±标准误差，同一纵列中不同字母代表差异显著（*df*=3, *P*<0.05, LSD 检验）。下表同。

Data in the table are mean±SE, and followed by different letters in the same column indicate significantly different (*df*=3, *P*<0.05, LSD test). The same below.

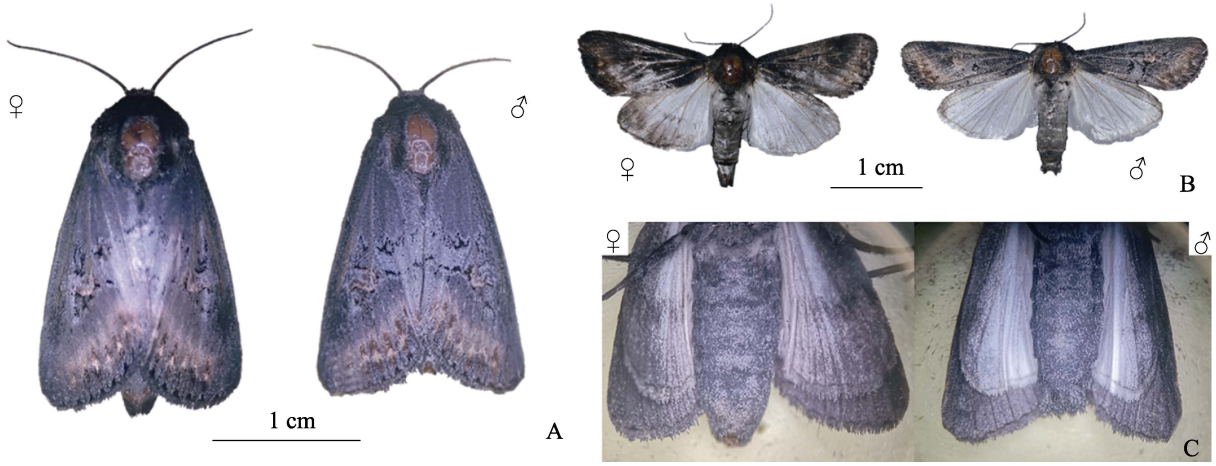


图 2　葱兰夜蛾雌雄成虫对比

Fig. 2　Comparison between male and female of *Brithys crini* adults

A. 背面；B. 标本照；C. 腹部。

A. The back; B. Specimen photograph; C. The abdomen.

法看出区别（图 2：B）。雌蛾腹部较为圆润、粗大，末端附着的黑色毛簇短而少，当雌蛾开始求偶时，性信息素腺体会暴露于空气中；雄蛾腹部狭长，其末端附着有一圈黑色长毛簇，呈扫帚状（图 2：C）。

2.2　性行为及交配节律

一般在进入暗期 2 h 后雌蛾即开始求偶，首先雌蛾微微扇动翅膀，腹部第八、第九腹节的节间膜上的性腺表皮开始外翻并膨大，形成两个半球状黄色突起，持续膨胀，腹部末端的产卵器外伸（图 3：A）。雄蛾在此期间，在未受到性信息素影响的情况下便开始兴奋，表现为在饭盒内开始剧烈扇动翅膀（图 3：B）。该过程一般从暗期 2 h 开始，到暗期 5.5 h 结束。雄蛾在接受到性信息素召唤后，会飞到雌蛾附近停留，振动翅膀并慢慢爬向雌蛾，大部分雄蛾会爬到雌蛾旁边，用触角与雌蛾交流，此时雌蛾性腺大部分收缩回体内（图 3：C）。彼此接受后，雄蛾会转动身体，与雌蛾两尾相接，3-5 min 后以接近于“一字型”的方式交尾，交尾过程通常持续 2 h 左右（图 3：D，E）。而未彼此接受的雌雄成虫，一般会观察到雌蛾先离开，不久再在别处重新伸出性腺重新释放性信息素，雄蛾也会在不久后飞离。

葱兰夜蛾一生仅交尾一次，交尾时段集中分布在暗期，交尾高峰期在 0:00–3:00，该时段交尾虫次占总数的 67.74%（图 4）。交尾实验共有 50 对成虫，总体交尾率为 44.00%，其中 1 日龄成虫交尾率最高（表 2），且显著大于 2 日龄和 3



图 3　葱兰夜蛾求偶与交尾行为

Fig. 3　Calling and mating behaviors of *Brithys crini*

A. 雌虫释放雌激素；B. 雄虫振翅；C. 雄虫被吸引；D-E. 交尾；F. 产卵。

A. Calling; B. Flutter; C. Male attracted by female; D-E. Mating; F. Oviposition.

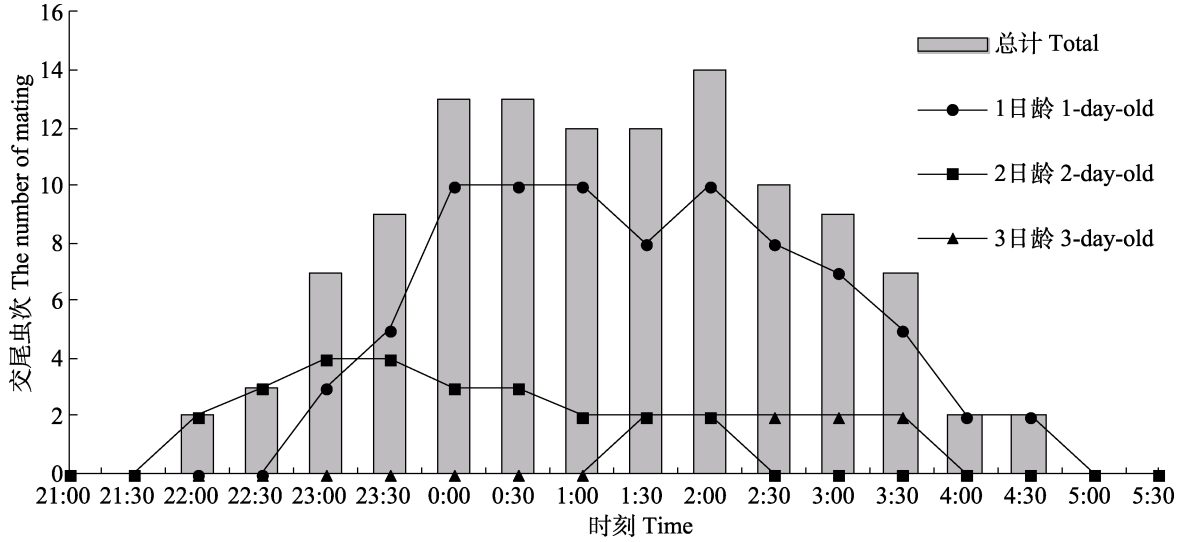


图 4　成虫交尾节律

Fig. 4　The rhythm of adult's mating

表 2　不同日龄成虫的交尾行为

Table 2　Mating behavior of diffierent day-old adults

日龄 Day-old	交尾率（%） Ratio of mating (%)	交尾时长（h） Duration of mating (h)
1	32.00±5.83 a	1.97±0.60 a
2	8.00±3.74 b	2.21±0.34 ab
3	4.00±2.45 b	2.42±0.04 b

日龄（P<0.05）。日龄与交尾时长成正比，3 日龄成虫交尾时长最久，与 1 日龄交尾时长差异显著（P<0.05）。

2.3　产卵行为与产卵量

1 日龄雌蛾即可以进行产卵活动，但不同生殖状态的雌蛾产卵规律差异明显。1 日龄雌蛾交尾后便会进行活跃的产卵活动，在 2 日龄时达到产卵最高峰，之后逐日减少。未交尾雌蛾在 1 日龄时较少发生产卵活动，且产卵量较少，产卵高峰在 2 日龄和 3 日龄时。不同生殖状态下的雌蛾都会在交尾后连续 2–3 d 产卵，首次产卵后，会在次日达到单日最大产卵量，前者产卵数日趋减少，后者在寿命结束前的产卵量有所增大。交尾雌蛾最大单雌产卵量为 709 粒，最大日产卵量为 324 粒。未交尾雌蛾最大单雌产卵量为 444 粒，最大日产卵量为 226 粒。交尾史对雌蛾产卵活动的影响显著，交尾雌蛾的产卵率和产卵量均高于未交尾雌蛾，且不同处理雌蛾在产卵量上差异显著（P<0.05）（表 3）。

2.4　成虫寿命

实验观察到雌蛾最长寿命为 9 d，雄蛾最长寿命为 7 d，多数葱兰夜蛾成虫寿命约为 4 d。交尾活动会影响成虫寿命，未交尾雌（雄）虫平均寿命大于交尾雌（雄）虫，相同生殖状态下雌虫平均寿命大于雄虫，但是不同处理雌雄成虫寿命之间均无显著性差异（表 4）。

表 3　不同处理雌虫产卵行为

Table 3　Oviposition behavior of female under different treatments

处理 Treatment	观察数（头） Number of observations (ind.)	产卵率（%） Oviposition rate (%)	产卵天数（d） Oviposition days (d)	产卵量（枚） The egg number (grain)
未交尾雌蛾 Virgin female	30	93.33	3.14±0.27 a	196.57±25.71 b
交尾雌蛾 Mated female	30	100.00	3.13±0.32 a	448.53±47.89 a

表 4　不同处理成虫寿命

Table 4　The lifespan of adults under different treatments

处理 Treatment	观察虫数（头） Number of observed (ind.)	最短寿命（d） Minimum lifespan (d)	最长寿命（d） Maximum lifespan (d)	平均寿命（d） Mean of lifespan (d)
未交尾雌 Virgin female	50	2	9	4.04±0.21 a
未交尾雄 Virgin male	50	2	7	4.10±0.18 a
交尾雌 Mated female	22	2	6	3.47±0.35 a
交尾雄 Mated male	22	2	6	3.73±0.27 a

3　结论与讨论

葱兰夜蛾蛹的雌雄性别准确鉴别，不仅有助于解决葱兰夜蛾羽化求偶、生殖行为的观察，处女雌蛾的获得、寄主植物挥发物及信息素研究等实验中单性昆虫的需求问题，而且还能提前了解下一代性比，为野外种群动态调查及预测预报工作提供理论依据。本研究通过详细观察葱兰夜蛾雌雄蛹的性别特征，雌蛹生殖孔位于第 8 腹节，雄蛹生殖孔位于第 9 腹节，这与旋幽夜蛾 *Scotogramma trifolii*、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*、凤凰木夜蛾 *Pericyma crueger*、草地贪夜蛾等夜

蛾科其他昆虫蛹的特征一样（赵琦等，2011；赵晓峰等，2016；陆雪雷等，2017；杨亚军等，2022），这可能是大部分夜蛾科昆虫的生殖孔位置。

夜蛾科昆虫的生殖活动通常发生在夜间（Cardé，1973）。葱兰夜蛾交尾活动只在暗期进行，成虫产卵行为主要发生在暗期，与其他夜蛾科昆虫类似的暗期繁殖特性相近，如草地贪夜蛾（张罗燕等，2022）。昆虫的性发育时间各不相同，红铃虫 *Pectinophora gossypiella* 需要 1 d 时间（许冬等，2020），褛裳夜蛾 *Catocala remissa* 雌蛾最早在羽化 3 d 以后才开始生殖活动，一周左右表现最为强烈（郑海霞等，2014）。葱兰夜蛾羽化当天的成虫就已经性成熟，进入暗期后便开始求偶、交尾、产卵等一系列生殖行为，这与木毒蛾 *Lymantria xylina*（左城等，2020）、巨疖蝙蛾 *Endoclita davidi*（李幸等，2021）等蛾类相似，推测是因为葱兰夜蛾成虫寿命较短，所以性成熟的时间缩短，且在 1 日龄时就达到了生殖活动的最高峰。

鳞翅目蛾类昆虫的交配策略有单配制和多配制，多数种类存在多次交配的现象，通常平均交配次数低于 1.5 次的昆虫定义为单配制昆虫（Arnqvist and Nilsson，2000；张诗语等，2015）。在本实验条件下的葱兰夜蛾雌雄成虫只进行 1 次交配行为，为单配制蛾类。在部分蛾类昆虫中也观察到这种现象（Mcnamara *et al.*，2008；张清泉等，2012）。虽然葱兰夜蛾一生仅交配 1 次，但其产卵量和孵化率均较高，说明该虫繁殖系数高，群体积累快，可能是其常爆发成灾的原因之一。另有研究表明，昆虫在不同寄主下的繁殖行为节律有所不同，例如斜纹夜蛾烟草种群一生交配 1-3 次，而白菜种群只交配 1 次，差异极显著（武承旭等，2015）。目前，尚不明确葱兰夜蛾在使用不同寄主植物饲养下的行为节律变化，需进一步研究。

雌蛾并不会接受每一头被性信息素吸引而来的异性，因为雌蛾的各种求偶行为是为了找到优质的配偶以更好地完成繁衍的使命。如果仅仅通过振翅、飞行、追逐和触角交流就能完成雌雄配对，那么雌蛾耗费能量合成并释放性信息素的行为作用不大。葱兰夜蛾的交尾率与日龄成负相关，交尾时长则随日龄增大而延长。推测这是因为高龄成虫生命力降低，需要通过延长交配时间来增加生殖力，以达到占有雌虫，降低其再次交配的几率（Jones and Aihara-Sasaki，2001）。另一方面，由于生命力不足，雌雄两方会付出更高的交配代价（范立鹏等，2015），不同处理成虫的寿命差异可以印证这一观点。一般来说，未交配的雌蛾比已交配的雌蛾存活更，而单次交配的雌蛾又比多次交配的雌蛾寿命更长（张诗语等，2015）。葱兰夜蛾相同生殖情况下雌虫平均寿命大于雄虫，未交尾成虫平均寿命大于交尾成虫，说明交尾行为会减少成虫的寿命，这一规律目前也适用于大部分蛾类（刘永华等，2013；武玉洁等，2015；张锦坤等，2020）。

基于葱兰夜蛾的繁殖行为及节律，可为其信息素的化学鉴定提供可靠的基础数据，进一步应用信息素进行绿色防控，为葱兰夜蛾的预测预报和制定综合防治策略等提供科学参考。

参考文献 (References)

Arnqvist G, Nilsson T, 2000. The evolution of polyandry: Multiple mating and female fitness in insects. *Anim. Behav*., 60(2): 145–164.

Cardé, 1973. Temperature modification of male sex pheromone response and factors affecting female calling in *Holomelina immaculata* (Lepidoptera: Arctiidae). *Canadian Entomologist*, 105 (12): 1505–1512.

Dong QJ, Zhou JC, Zhu KH, Zhang ZT, Dong H, 2019. A simple method for identifying sexuality of *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) pupae and adults. *Plant Protection*, 45(5): 96–98, 105. [董前进, 周金成, 朱凯辉, 张柱亭, 董辉, 2019. 一种快速鉴别草地贪夜蛾蛹及成虫雌雄的简易方法. 植物保护, 45(5): 96–98, 105.]

Fan LP, Huang FQ, Wang HB, Li GH, Kong XB, Zhang SF, Zhang Z, 2015. Reproductive behavior of *Micromelalopha sieversi* (Lepidoptera: Notodontidae). *Scientia Silvae Sinicae*, 51(8): 60–66. [范立鹏, 黄范全, 王鸿斌, 李国宏, 孔祥波, 张苏芳, 张真, 2015. 杨小舟蛾(鳞翅目: 舟蛾科)的生殖行为. 林业科学, 51(8): 60–66.]

Huang WL, 2013. The classification of tribus genus and geographic distribution of Amaryllidaceae. *Guizhou Science*, 31(6): 1–6. [黄

威廉, 2013. 石蒜科植物族属分类及地理分. 贵州科学, 31(6): 1–6.]

Ji YB, Xin GS, Qu ZY, Zhou X, Yu M, 2016. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of alkaloids from plants of *Lycoris* Herb. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 47(1): 157–164. [季宇彬, 辛国松, 曲中原, 邹翔, 于淼, 2016. 石蒜属植物生物碱类化学成分和药理作用研究进展. 中草药, 47(1): 157–164.]

Ji YL, Cai Xg, Ji DH, 2011. Biological characteristics and control of *Brithys crini* in Shantou city. *Guangdong Landscape Architecture*, 33(2): 34–36. [纪燕玲, 蔡选光, 纪丹虹, 2011. 汕头毛健夜蛾生物学特性及防治措施. 广东园林, 33(2): 34–36.]

Jiang YY, Liu J, Zeng J, Xia B, Lu YH, 2021. Monitoring and forecast of cotton pests in China: A review over the past 70 years. *Journal of Plant Protection*, 48(5): 940–946. [姜玉英, 刘杰, 曾娟, 夏冰, 陆宴辉, 2021. 中国棉花害虫测报: 70 年回顾. 植物保护学报, 48(5): 940–946.]

Jones VP, Aihara-Sasaki M, 2001. Demographic analysis of delayed mating in mating disruption: A case study with *Cryptophelbia illepida* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology*, 94(4): 785–792.

Li X, Chen S, Zhou Q, 2021. Reproductive behavior rhythm of *Endoclita davidi* (Lepidoptera: Hepialidae), an host insect of Ophiocordyceps xuefengensis. *Journal of Environmental Entomology*, 43(5): 1273–1279. [李幸, 陈珊, 周琼, 2021. 雪峰虫草寄主巨疖蝙蛾的生殖行为节律. 环境昆虫学报, 43(5): 1273–1279.]

Li XJ, Zhao MJ, Hu JY, Tang L, Li LZ, 2005. Preliminary observation on the bionomics of *Brithys crini*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(1): 44–46. [李新巾, 赵梅君, 胡佳耀, 汤亮, 李丽珍, 2005. 毛健夜蛾生物学特性初步研究. 昆虫知识, 42(1): 44–46.]

Liu YH, Yan XF, Zhang YQ, Qi LZ, Lu PF, Zhong SX, Luo YQ, 2013. The eclosion and reproduction of *Trabala vishnou* gigantina Yang (Lepidoptera: Lasiocampidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(5): 1253–1259. [刘永华, 阎雄飞, 章一巧, 齐连珍, 陆鹏飞, 宗世祥, 骆有庆, 2013. 栎黄枯叶蛾羽化及生殖行为研究. 应用昆虫学报, 50(5): 1253–1259.]

Lu XL, Zhu CQ, Qin WQ, Jia CJ, Lin XL, Wen XJ, 2017. Sex identification of pupae and adults of *Pericyma cruegeri* Butler. *Forest Pest and Disease*, 36(4): 34–36. [陆雪雷, 朱诚棋, 秦文权, 贾彩娟, 林杏莉, 温秀军, 2017. 凤凰木夜蛾蛹和成虫的雌雄形态鉴定. 中国森林病虫, 36(4): 34–36.]

Ma T, Huang ZJ, Zhu Y, Lin N, He YR, Wen XJ, 2019. Progress in sex pheromone components in geometrid species (Lepidoptera: Geometridae) and their application. *Scientia Silvae Sinicae*, 55(5): 152–162. [马涛, 黄志嘉, 朱映, 林娜, 肖强, 何余容, 温秀军, 2019. 尺蛾科昆虫性信息素组分特征及应用进展. 林业科学, 55(5): 152–162.]

Ma T, Lin N, Zhou LL, Wang C, Sun CH, Chen XY, He YR, Wen XJ, 2018. Research progress and application prospect of sex pheromone interference in pest control. *Forest Research*, 31(4): 172–182. [马涛, 林娜, 周丽丽, 史先慧, 周秋宏, 王偲, 孙朝辉, 陈晓阳, 何余容, 温秀军, 2018. 性信息素迷向干扰防控害虫的研究进展及应用前景. 林业科学研究, 31(4): 172–182.]

McNamara KB, Elgar MA, Jones TM, 2008. A longevity cost of re–mating but no benefits of polyandry in the almond moth *Cadra cautella*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 62(9): 1433–1440.

Shen XC, Sun H, Zhao HD, 2007. Species diversity and distribution patterns of Noctuidae (Lepidoptera) in China. *Acta Entomologica Sinica*, 50(7): 709–719. [申效诚, 孙浩, 赵华东, 2007. 中国夜蛾科昆虫的物种多样性及分布格局. 昆虫学报, 50(7): 709–719.]

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

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.]

Wu KM, 2020. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Protection*, 46(2): 1–5. [吴孔明, 2020. 中国草地贪夜蛾的防控策略. 植物保护, 46(2): 1–5.]

Wu YJ, Liu ZX, Zhang JT, Chen XP, Hao AZ, Li JB, 2015. Reproductive behavior of *Malacosoma neustria testacea* Motschulsky and the relative effectiveness of diferent attractants in the field. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(5): 1131–1139. [武玉洁, 刘志雄, 张金桐, 陈旭鹏, 郝爱忠, 李建兵, 2015. 黄褐幕枯叶蛾生殖行为研究和林间引诱试验. 应用昆虫学报, 52(5): 1131–1139.]

Xu D, Cong SB, Li WJ, Wang L, Yang NN, Xiao LB, Wang P, 2020. Effects of age and mating time on the courtship behavior and longevity of adult female *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera:

Gelechiidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(6): 1394–1401. [许冬, 丛胜波, 李文静, 王玲, 杨妮娜, 肖留斌, 万鹏, 2020. 红铃虫日龄及交配经历对雌蛾求偶行为与寿命的影响. 应用昆虫学报, 57(6): 1394–1401.]

Yang YJ, Guo JW, Qian JN, Xu HX, Lv ZX, 2022. Comparison of the morphological characteristics of *Spodoptera frugiperda* pupae with those of five other lepidopteran pest species. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(3): 559–567. [杨亚军, 郭嘉雯, 钱佳宁, 徐红星, 吕仲贤, 2022. 草地贪夜蛾和其它五种重要鳞翅目害虫蛹的形态特征比较. 应用昆虫学报, 59(3): 559–567.]

Yu W, Li ZH, Wang E, Zhang DF, 2009. Bionomics and control of *Brithys crini*. *Biological Disaster Science*, 32(2): 84–86. [于炜, 李佐晖, 王恩, 章丹峰, 2009. 毛健夜蛾生物学特性及防治. 江西植保, 32(2): 84–86.]

Zhang JK, Hu KY, Zhang GX, Fan LH, Feng Y, Wang C, Wen XJ, Mao T, 2020. New pests of *Machilus chinensis*: Observation of emergence rhythm and reproductive behavior from *Cricula variabilis*. *Forest Research*, 33(6): 23–31. [张锦坤, 胡可炎, 张国祥, 范凌华, 冯莹, 王偲, 温秀军, 马涛, 2020. 中华润楠食叶新害虫: 异斑酷大蚕蛾羽化节律与生殖行为观察. 林业科学研究, 33(6): 23–31.]

Zhang LY, Wang F, Wang XS, Xu J, Ye H, 2022. Reproductive behavior and circadian rhythms of *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Environmental Entomology*, 44(3): 509–522. [张罗燕, 汪分, 万小双, 徐进, 叶辉, 2022. 草地贪夜蛾生殖行为及其昼夜节律研究. 环境昆虫学报, 44(3): 509–522.]

Zhang QQ, Zhang XL, Lu W, 2012. Effects of adult age and mating status on fecundity of *Haritalodes derogate*. *Plant Protection*, 38(2): 71–74. [张清泉, 张雪丽, 陆温, 2012. 成虫日龄与交配状态对棉褐环野螟繁殖力的影响. 植物保护, 38(2): 71–74.]

Zhang SY, Zeng JP, Wu XF, Peng LH, Liu XP, 2015. The effect of multiple mating on female reproductive fitness in moths: A meta– analysis. *Journal of Environmental Entomology*, 37(6): 1272– 1279. [张诗语, 曾菊平, 吴先福, 彭龙慧, 刘兴平, 2015. 多次交配对雌性蛾类生殖适应性影响的 Meta 分析. 环境昆虫学报, 37(6): 1272–1279.]

Zhao XF, Yang AD, Zhang MX, 2016. A method for the rapid sex–determination of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) pupae and adults. *Journal of Environmental Entomology*, 38(5): 1066–1070. [赵晓峰, 杨安峁, 张茂新, 2016. 一种快速鉴别甜菜夜蛾蛹及成虫雌雄的简易方法. 环境昆虫学报, 38(5): 1066–1070.]

Zhao Y, Zhang HY, Liu H, Cheng DF, 2011. A method used for distinguishing between the sexes of *Scotogramma trifolii*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1879–1881. [赵琦, 张云慧, 刘怀, 程登发, 2011. 鉴别旋幽夜蛾雌雄蛹的方法. 应用昆虫学报, 48(6): 1879–1881.]

Zheng HX, Yan Y, Zhang JT, Guo SY, Zong SX, Liu HX, Yang MH, 2014. Reproductive behavior traits and sexual tendency of the adult *Catocala remissa*. *Scientia Silvae Sinicae*, 50 (12) : 87–93. [郑海霞, 阎毅, 张金桐, 郭淑英, 宗世祥, 刘红霞, 刘金龙, 杨美红, 2014. 褒裳夜蛾成虫生物学与性趋向. 林业科学, 50(12): 87–93.]

Zuo C, Chen S, Zhou Q, Wang JD, Wang R, 2020. Observation of emerging and reproductive behavior rhythm of *Lymantria xylina*. *Agricultural Science Journal of Yanbian University*, 42(4): 37–43. [左城, 林健聪, 张继锋, 张智涵, 王锦达, 王荣, 2020. 木毒蛾羽化和生殖行为节律观察. 延边大学农学学报, 42(4): 37–43.]