

# 粘虫(*Mythimna separata* Walker) 迁飞行为研究

王玉正<sup>1,2</sup>, 张孝羲<sup>1</sup>

(1. 南京农业大学, 南京 210095; 2. 山东省植物保护总站, 济南 250100)

**摘要:**粘虫成虫期取食、飞翔、求偶或性反应交配和产卵一系列行为是各具相对独立性和顺序性的阶段。飞翔在取食、飞翔、求偶或性反应交配、产卵等期内都有发生, 并有不同的飞翔特征, 在迁飞中以飞翔期的飞翔最为重要。雌雄蛾的飞翔期在羽化后 3~10 日龄, 因求偶、性反应前期变化而有变异。粘虫雌蛾求偶前期 2~11d, 平均为 5.93d, 雄蛾性反应前期 3~11d, 平均为 7.14d。求偶、性反应与迁飞潜力有密切关系。随求偶、性反应前期加长, 求偶、性反应前飞翔量呈“S”形曲线增长; 求偶或性反应迟的个体有飞翔期, 且有 1~2 个飞翔峰(日)。根据有无飞翔期和求偶、性反应与飞翔量曲线确定雌蛾求偶前期大于 5d, 雄蛾性反应前期大于 4d 的个体为迁飞型个体。自然种群中雌蛾迁飞型个体占 52.47%, 雄蛾占 97.14%; 不同地理种群江苏、吉林、山东和广东 1~4 代粘虫, 雌蛾迁飞个体依次占 47.64%、49.29%、47.22% 和 68.22%, 求偶前期平均依次为 5.75、5.64、5.58 和 6.77d。影响求偶前期的生态因素主要是温度逐渐上升和食料不断老化, 两者可能是引起粘虫迁飞的主要因素。讨论了粘虫成虫期行为、繁殖与迁飞潜力及迁飞过程的关系。

**关键词:**粘虫; 行为; 迁飞; 求偶前期; 性反应前期; 飞翔期

## Studies on the migratory behaviours of oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker)

WANG Yu-Zheng<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiao-Xi<sup>1</sup> (1. Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095 China; 2. General Station of Plant Protection of Shandong, Ji'nan 250100, China)

**Abstract:** Studies on the migratory behaviours of Oriental Armyworm, *Mythimna separata* (Walker), were carried out from 1989 to 1990. A series of behaviours for feeding, flying, calling or sex responding and mating, ovipositing of adult were observed. It was assumed that these series of behaviours were relative independent and in sequence. Flight periods of both sexes occurred in 3~10 days after emergence and varied correlatively with the pre-calling or pre-response periods. Various characters of flights in the series of periods mentioned above were discriminated, but only the flight in flying period was the migratory flight and played an important role in migration.

The length of pre-calling period of the females and the pre-response period of males varied from 2~11 (5.93 days in average) and 3~11 days (7.14 days), respectively.

There was intimate relation between calling or response and migratory potential. The longer the pre-calling or pre-response period, the more the flight before occurrence of calling or response would be and their relation was fitted to logistic curve. Individuals of the late calling or response presented obvious flight period with 1~2 flight peak nights. According to the existing of flight period and the logistic curve of relation between calling or response and flight, the population of Oriental Armyworm could be divided individually into two types, the migrant and resident moths. The criterions used to classify these two types were: pre-calling period of females > 5 days and pre-response period of males > 4 days. The proportions of the migrants in natural population were 52.74% for female and 97.14% for male. The geographical populations in four places Yangzhou, Gongzhuling, Ji'nan, Guangzhou with 1~4 generations were examined by

基金项目: 高校博士点基金资助项目(92-02-09)

收稿日期: 2000-09-18; 修回日期: 2000-12-02

万方数据

作者简介: 王玉正(1957~), 男, 山东潍坊, 硕士, 高级农艺师。主要从事农作物病虫害鼠害防治研究。

the characteristic of pre-calling period. The averages of pre-calling periods and the proportions of migrants in these four geographical populations were 5.75、5.64、5.58、6.77 days and 47.64%、49.29%、47.22%、68.22%, respectively. It showed significant difference between Guangzhou population and other populations.

**Key words:** *Mythimna separata* (Walker); behaviour; migration; pre-calling period; pre-responding period; flight period

文章编号:1000-0933(2001)05-0772-08 中图分类号:Q968.1 文献标识码:A

粘虫 *Mythimna separata* (Walker) 是我国粮食作物的重要害虫。每年南北往返迁飞危害,给农业生产造成巨大损失<sup>[1,2]</sup>。研究其迁飞机制,对搞好测报和防治均有重要的意义。

粘虫迁飞已有很多研究,多数研究集中在迁飞事实澄清和迁飞过程等方面<sup>[2~10]</sup>。迁飞是行为、生理、生态等因素综合影响的结果。在行为方面,对粘虫蛾已做了一般行为观察<sup>[11,12]</sup>,对粘虫飞行能力进行了测定<sup>[12,13]</sup>。在生理方面,基本明确了粘虫迁飞的能源物质及其来源<sup>[13,15]</sup>。在生态方面,仅就气象因素对迁飞过程的影响<sup>[8~10]</sup>,营养对卵巢发育和飞行能力的影响<sup>[13]</sup>以及温度对飞行能力的影响进行过研究。有关粘虫种群内迁飞与居留两类个体的分化、引起粘虫迁飞的生态因素以及成虫期行为与迁飞的关系,特别是性行为与迁飞潜力的关系都是过去未曾研究过的问题。作者于 1989~1990 年在南京对粘虫行为进行了系统观察,从行为学方面对上述问题进行了系统研究,并对粘虫成虫期行为、粘虫生殖与飞行的关系和迁飞过程进行了讨论。

## 1 材料和方法

主要在室内饲养观察,标准饲养观察条件:室温为 23℃,湿度为 65%~75%,光周期为 14h 光照和 10h 暗期,光强为 2×40W 日光灯;1~3 龄幼虫饲养于大培养皿内,每皿 200~300 头,饲以嫩麦叶或玉米叶,3 龄后单头分置于小培养皿内,饲人工饲料<sup>[17]</sup>;成虫羽化后,单置于玻璃罐头瓶中,逐日加 10% 蜂蜜水在棉球上,供成虫取食;羽化逐日观察粘虫雌蛾求偶、雄蛾性反应。雌蛾以产卵器伸出体外作为求偶反应,雄蛾抱握器伸出并张开作为性反应;以羽化后第 1 次出现求偶或性反应的日龄数分别定为求偶前期和性反应前期。

### 1.1 成虫行为观察

从江苏实验种群中抽取雌蛾 26 头,雄蛾 25 头(标准条件下饲养),自羽化日起,逐日整个暗期持续观察其展翅、取食、飞翔、求偶或性反应、交配、产卵等行为。

### 1.2 粘虫种群内不同求偶前期和性反应前期的分化

从江苏、吉林、山东和广东 4 个全国不同代次采卵各 10 块左右,在标准条件下饲养与观察。

### 1.3 求偶前期和性反应前期与迁飞潜力的关系

**1.3.1 求偶前期和性反应前期与取食、飞翔的关系** 从实验种群中抽取雌蛾 26 头,雄蛾 25 头,自羽化日起至雌蛾产卵 2d 止,逐日整个暗期持续观察其取食、飞翔、求偶或性反应等行为,记录每一行为的开始与结束时间,计算花费时间。

**1.3.2 卵巢发育与求偶的关系** 分别取尚未出现求偶的雌蛾和已出现求偶的雌蛾,解剖观察其卵巢发育情况。

**1.3.3 求偶与寿命的关系** 以实验种群为虫源,在标准饲养观察条件下观察雌蛾求偶前期和寿命。

### 1.4 生态因素对求偶前期的影响

**1.4.1 幼虫期** 以江苏实验种群为虫源,分为整个幼虫期皆饲幼嫩麦叶和 1~3 龄幼虫饲幼嫩麦叶 3 龄后饲人工饲料(毕富春,1983 配方 3<sup>[17]</sup>,其中内含有 53.3% 结棒期玉米干叶粉,粘虫幼虫喜食)两处理,成虫羽化后在标准条件下观察求偶前期。

**1.4.2 幼虫~蛹期 温度** 以江苏实验种群为虫源,模拟 1 代和 3 代粘虫发生的平均温度变化,设以温度上升 18~23℃ 和下降 28~23℃ 为处理,以恒温 23℃ 作对照,温度变化每 5 日上调或下调 1℃。雌蛾羽化后在 23℃ 条件下观察求偶前期。

**光周期** 以江苏实验种群为虫源,模拟 1 代和 3 代粘虫发生的光周期变化,设增光照由每日 12.5h 增至 14h 和减光照由每日 15.5h 减至 14h 为处理,每 5 日调节 15min,以恒光 14h 为对照。幼虫至蛹期进行不同的光照处理,成虫羽化后在 14h 光照下观察求偶前期。

**温度与光周期** 以江苏实验种群为虫源,模拟 1 代和 3 代粘虫发生的温度和光周期的变化,分别置于增温增光(18~23℃,12.5~14h)和降温减光(28~23℃,15.5~14h)下饲养和化蛹,每 5 日调节 1℃和 15min,以恒温恒光(23℃,14h)为对照。成虫羽化后在温度 23℃和光照 14h 条件下观察求偶前期。

**1.4.3 成虫期** 以江苏实验种群为虫源,成虫期以前在标准条件下饲养,成虫羽化后分为给营养 10% 蜂蜜水和只给清水两组,在标准条件下观察雌蛾求偶前期,系统解剖雌蛾的卵巢发育状况,并观察成虫寿命。

### 1.5 不同地理种群求偶前期的比较

分别从江苏、吉林、山东和广东全国 1~4 代 4 个不同地理种群中采卵各 10 块左右,置标准条件饲养,观察求偶前期,比较不同地理种群的差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 成虫行为及一般阶段划分

通过对 26 头雌蛾和 25 头雄蛾羽化后逐日暗期持续观察,发现粘虫成虫期行为可分为取食、飞翔、求偶或性反应交配、产卵等各具相对独立性和顺序性的不同行为阶段。取食期,雌蛾羽化后为 0~4 日龄,雄蛾为 0~3 日龄,取食为主要行为,飞翔量极少,飞翔以振翅频率低和持续时间短为特征,可称为寻食飞翔;飞翔期,只有求偶、性反应前期长的个体所特有,飞翔期雌雄蛾从羽化 3 日龄起至求偶性反应日止,且随求偶、性反应前期的加长而加长,此期飞翔量大,且有 1~2 个飞翔峰日,飞翔以翘尾水平位移且持续时间长为特征,适于远距离飞行;求偶或性反应交配期,从出现求偶或性反应开始,雌蛾历期 4~5 日,雄蛾 5~6 日,主要行为是求偶交配,飞翔量较大,但以原地振翅且雌蛾不断抖动已伸出的产卵器,而雄蛾则腹部末端向腹面弯曲不断碰触物体为特征,这种飞翔可称为求偶交配飞翔;雌雄蛾开始求偶或性反应的当日即可交配,但以求偶性反应后第 2~3 夜交配者最多,一生可交配 2 次以上,有的一夜可交配 2 次;产卵期,交配后的次日均开始产卵,产卵期 5~6d,每天都产卵,产卵间隙的飞翔仍表现为求偶、交配特征;停交产卵期,粘虫雌雄蛾基本失去了交配能力。

### 2.2 粘虫种群内不同求偶前期和性反应前期的分化

测定粘虫雌蛾 474 头,雄蛾 35 头,发现自然界随机交配的种群内个体间求偶前期和性反应前期有很大的分化。雌蛾求偶前期分化为 2~11 日,依次各占 0.21%、4.85%、18.35%、23.84%、18.14%、14.14%、11.18%、5.49%、2.53% 和 1.27%。关于粘虫雄蛾是否具有生殖滞育的问题,有人认为雄蛾羽化时已具有成熟的精子,取食后就能交配,无生殖滞育期<sup>[11,18]</sup>。本次观察表明,雄蛾部分个体也有生殖滞育期。首先作者观察雄蛾具有 3~11 日分化的性反应前期,依次各占 2.86%、14.29%、22.86%、11.43%、31.43%、8.57%、5.71%、2.86%;其次,在田间用性诱剂诱雄蛾,迁入代雄蛾对性诱剂反应强烈,而迁出代基本无反应,极少诱到雄蛾<sup>[19]</sup>;再次,以已出现求偶反应的雌蛾配以初羽化的雄蛾,发现尽管雌蛾求偶强烈,雄蛾羽化后必须经过一定生殖发育后才有性反应,进行交配。这表明雄蛾与雌蛾同样部分个体具有生殖滞育期。

### 2.3 求偶前期和性反应前期与迁飞潜力的关系

**2.3.1 求偶前期和性反应前期与取食、飞翔的关系** 雌蛾 不同求偶前期的雌蛾在求偶前与后取食时间和总取食时间上均无显著性差异( $F=0.4$ 、 $F=2.59$  和  $F=0.66 < F_{0.05}=2.63$ )。在取食日龄分布上(图 1),只有求偶前期甚短(2 日龄)的取食高峰 0~1 内,其余求偶前期 4~9 日龄的均在 1~4 日龄内大量取食,第 5 日龄明显减少,表明雌蛾羽化后 0~4 日为大量取食期,称为取食期。

不同求偶前期的雌蛾在飞翔总时间和求偶后的飞翔时间上均无显著差异( $F=0.43$ 、 $F=1.73 < F_{0.05}=2.63$ )。而不同求偶前期的雌蛾求偶前飞翔时间则有极显著的差异( $F=4.62 > F_{0.01}=3.94$ )。比较不同求偶前期的求偶期前飞翔时间作图 2、图 3。从图看出,以求偶前期 5 日作为临界值,求偶前期为 2~5 日的在求偶前各日飞翔数据求偶前期长 6~9 日的从 3 日龄起飞翔明显增多,并且在求偶前有 1~2 个飞翔峰(夜),表明这些个体具有在取食期与求偶之间有一个飞翔期,而那些求偶前期短为 2~5 日的则无飞翔期。

求偶前期长的个体在特有的飞翔期内极少取食,飞翔次数和持续时间都增多,如有 1 头求偶前期 9 日的个体在 5 日龄飞翔峰夜飞翔达 13 次,累计飞翔时间达 241min,飞翔以翘尾水平位移运动为特征,显然这种飞翔适于远距离迁飞。求偶当日和次日虽然飞翔较多,但飞翔的性质与求偶前有质的区别,这种飞翔表现为附着在物体上或停在空中伸出产卵器的求偶性交飞翔,不适于远距离迁飞。以上充分表明粘虫种群中存在着两类个体:一类是求偶前期短(2~5 日),求偶前飞翔少,无飞翔期,羽化后大量取食,立即进入求偶交配期,称之为居留个体;而另一类个体求偶前期大于 5 日,经过取食期后有明显的飞翔期,且有 1~2 次飞翔峰(夜)才进入求偶交配期,称之为迁飞个体。

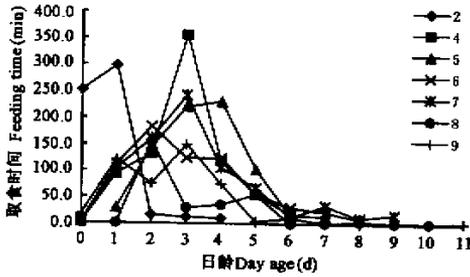


图 1 粘虫雌蛾求偶与取食的关系

Fig. 1 Relation between pre-calling period and feeding of oriental armyworm  
2~9:不同求偶前期 Indicated day age of pre-calling period, respectively

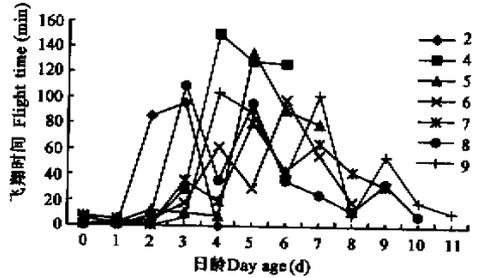


图 2 粘虫雌蛾求偶前期与飞翔的关系

Fig. 2 Relation between pre-calling period and flight of oriental armyworm  
2~9:不同求偶前期 Indicated day age of pre-calling period, respectively

**雄蛾** 不同性反应前期的雄蛾在性反应前取食和总取食上没有明显差异( $F=0.45, F=0.64 < F_{0.05} = 2.74$ ),性反应后的取食有显著差异( $F=4.40 > F_{0.01} = 4.1$ ),这主要因性反应前期短(2~4 日)的 3 组在性反应后仍有明显的取食。不同日龄间取食有极显著差异( $F=11.30 > F_{0.01} = 2.8$ ),不同性反应前期的雄蛾取食都一致地表现为 0~3 日龄大量取食,占总取食量的 90.8%,第 4 日龄明显减少,表明雄蛾 0~3 日龄为取食期(图 4)。

不同性反应前期的雄蛾在总飞翔时间和性反应后飞翔时间上无显著差异( $F=0.81, F=2.18 < F_{0.05} = 2.74$ )。虽然不同性反应前期的雄蛾在性反应前飞翔时间上未达到显著差异( $F=2.14 < F_{0.01} = 2.74$ ),但与雌蛾一样随性反应前期的延长,性反应前飞翔时间也呈“S”形曲线增长(图 6)。其中,以性反应前期 2~4 日龄的雄蛾飞翔时间短,仅为 24.5~50.2min,性反应前期 5~7 日的则增至 98.0~114.1min。从图 5 看出,性反应前期短为 2~4 日的不仅性反应前的飞翔时间短,而且无明显飞翔期,而性反应前期 5~7 日的在性反应前取食后有 1 个明显的飞翔期,特别是性反应前期 6~7 日的个体在飞翔期内有一个飞翔峰。性反应后虽然飞翔多,但这种飞翔的性质与性反应前的翘尾持续时间长的位移飞翔不同,是原地振翅腹部末端向腹面弯曲不断碰触物体为特征的性交飞翔。表明雄蛾与雌蛾一样种群内也存在两类性质不同的个体分化:一类为性反应前期长为 5~7 日的个体,具有飞翔期,且有 1 个飞翔峰(夜),称之为迁飞个体,另一类性反应前期短为 2~4 日的个体,性反应前期无飞翔期,称之为居留个体。

**2.3.2 卵巢发育与求偶的关系** 解剖未求偶 18 头和已求偶 142 头雌蛾的卵巢。未求偶雌蛾卵巢基本不发育,1 日龄未求偶蛾仅有个别个体卵巢发育至 2 级,占 13.3%(2/15);求偶蛾求偶当日卵巢未成熟个体仍占多数;卵巢发育 1~2 级合占 75.6%(34/45),其中 17.8%的个体卵巢为 1 级,卵巢发育成熟 3~4 级的仅占 24.4%;而求偶后 20h,卵巢发育成熟的已为多数,3~4 级合占 88.3%(68/77),仅有 11.7%的个体发育至 2 级。发育数据 日卵巢发育都达成熟阶段(20 头)。表明求偶是标志雌蛾进入生殖期的一个重要指标。卵巢发育并非是一个渐进过程,而是从求偶始迅速跃进的过程,因此,粘虫求偶以前是生殖滞育的。

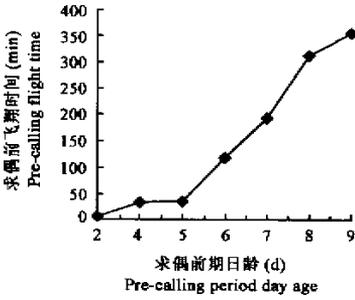


图 3 雌蛾不同求偶前期与求偶前飞翔累加时间的关系

Fig. 3 Relation between pre-calling period and pre-calling flying time of female moth

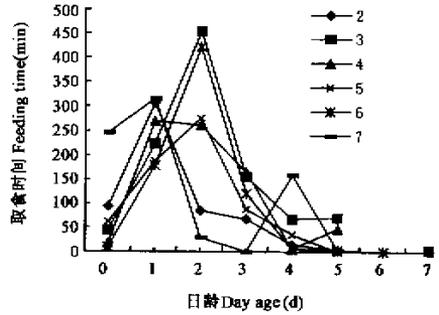


图 4 雄蛾性反应与取食的关系

Fig. 4 Relation between pre-response period and feeding of oriental armyworm

2~7: 不同性反应前期 Indicated day age of pre-response period

**2.3.3 求偶与寿命的关系** 不同求偶前期雌蛾寿命显著不同 ( $F=3.01 > F_{0.05}=2.29$ )。随求偶前期的延长, 寿命呈“S”形曲线增长。求偶前期短为 2~5 日的雌蛾平均寿命也短为 10.0~13.6d, 而求偶前期长为 6~10 日的雌蛾平均寿命为 16.5~17.4d。求偶前期短与长的个体取食期均在 4 日龄内, 而不同求偶前期的个体在求偶后存活期 (7.5~11.4d) 无明显差异 ( $F=0.99 < F_{0.05}=2.29$ )。以上表明求偶前期长的个体寿命长的原因是较求偶前期短的个体多具有 1 个飞翔期, 以便远距离迁飞, 同时也证明了粘虫种群内存在 2 类个体的分化。

2.4 生态因素对求偶前期的影响

**2.4.1 幼虫期** 模拟粘虫幼虫期自然食料变化和取食老化过程, 以 3 龄前饲嫩麦叶 3 龄后饲人工饲料 (内含 53.3% 结棒期玉米干叶粉) 代替取食老化过程, 并以整个幼虫期皆饲嫩麦叶为对照。幼嫩麦叶和人工饲料的求偶前期达 4.65d, 显著长于整个幼虫期饲嫩麦叶的求偶前期 (3.90d, 表 1)。表明幼虫期营养可能是引起粘虫逐代迁飞的一个因素。

**2.4.2 幼虫~蛹期** 模拟 1 代和 3 代粘虫自然发生的平均温度、光周期以及温度与光周期两因素变化,

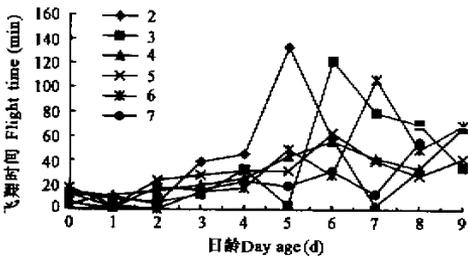


图 5 雄蛾性反应前期与飞翔的关系

Fig. 5 Relation between pre-response period and flight of oriental armyworm

2~7: 不同性反应前期 Indicated day age of pre-response period

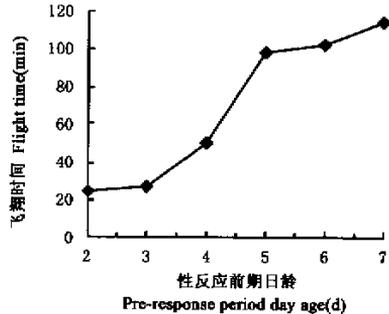


图 6 雌蛾不同性反应前期与性反应前累计飞翔时间的关系

Fig. 6 Relation between pre-response period and pre-response flight time of female moth

以恒温恒光为对照,观察比较雌蛾求偶前期。温度、光周期以及温度与光周期两因素的变化对粘虫求偶前期均无显著差异,但有一定的加长作用,以温度逐渐上升影响较大(表 1)。

表 1 温度、光周期、营养对粘虫求偶前期的影响

Table 1 Effect of temperature, light cycle and nutrition on pre-calling period of oriental armyworm

处理 Treatment		样本 Sample (N)	平均求偶前期(日龄) Mean pre-calling period (day age) $\bar{x} \pm S_x$	方差 Variance
温度 Temperature	升温(18~23℃)Increasing temperature	34	4.26±1.91	2.06 < $F_{0.05} = 3.07$
	降温(28~23℃)Decreasing temperature	34	3.76±1.37	
	对照(23℃)control	57	3.58±1.45	
光周期 Lightcycle	增光(12.5~14h)Increasing light	37	5.24±2.22	0.06 < $F_{0.05} = 3.11$
	减光(15.5~14h)Decreasing light	34	5.32±1.43	
	对照(14h)Control	30	5.17±1.88	
温度与光周期 Temperature and light cycle	升温增光(18~23℃, 12.5~14h) Increasing temperature and light	25	3.80±1.04	0.46 < $F_{0.05} = 3.13$
	降温减光(28~23℃, 15.5~14h) Decreasing temperature and light	20	3.85±0.93	
	对照(23℃, 14h)Control	29	3.55±1.45	
营养 Nutrition	幼嫩麦叶 Tender wheat leaf	101	3.90±1.43	9.47 > $F_{0.01} = 6.81$
	幼嫩麦叶和人工饲料 Tender wheat leaf and artificial diet	57	4.65±1.53	

2.4.3 成虫期 粘虫成虫期饲清水者求偶前期 4.24±1.39 日龄,与饲蜜水的 4.65±1.53 日龄无显著差异( $F=1.00 < F_{0.05} = 3.98$ );但饲清水的雌蛾求偶率仅为 35.42%(17/48);而饲蜜水的达 98.28%(57/58)。

虽然饲清水的雌蛾已出现求偶,但卵巢基本不发育,解剖求偶后 1 日的 7 头雌蛾,卵巢发育 1 级的占 71.4%,2 级的占 28.6%;解剖求偶 2~3 日后的雌蛾,卵巢发育 1 级的仍然占 75%,2 级的占 25%。而成虫期给以补充营养饲蜜水的雌蛾卵巢迅速发育,求偶当日卵巢发育到 3~4 级的已占 24.4%(11/45),求偶后次日卵巢发育为 3~4 级的占 88.3%(68/77),求偶后 3 日卵巢全部(20 头)发育成熟为 3~4 级。

成虫期饲清水和饲蜜水的在寿命上有显著的差异( $F=96.21 > F_{0.01} = 3.91$ )。饲清水的平均寿命,雌蛾仅为 5.61±1.59 日龄(36 头),雄蛾为 5.90±1.60 日龄(10 头);饲蜜水的平均寿命,雌蛾为 14.81±3.76 日龄(58 头),雄蛾为 18.56±4.95 日龄(36 头)。结果表明,营养对求偶前期无显著影响,但对求偶率、卵巢发育和寿命有显著影响。

## 2.5 不同地理种群求偶前期的比较

从江苏、吉林、山东和广东 4 个不同地理纬度田间自然发生的粘虫采卵(即全国 1~4 代粘虫),在室内同一条件下饲养观察,其不同地理粘虫种群的求偶前期有极显著的差异( $F=10.55 > F_{0.01} = 3.83$ )。广东种群(4 代粘虫)求偶前期 6.77 日龄,显著较江苏、吉林和山东(1~3 代粘虫)的求偶前期 5.58~5.75 日龄长,而 1~3 代粘虫间雌蛾求偶前期差异不显著。以求偶前期大于 5 日龄为迁飞个体的标准计算,全国 1~4 代粘虫迁飞个体依次占其种群的 47.64%、49.29%、47.22%和 68.22%,以广东种群最多(表 2)。

导致广东种群(4 代粘虫)求偶前期长,1~3 代粘虫求偶前期短的原因如下:各地粘虫种群内求偶前期均有较大分化,2~11 日龄(表 2)。求偶前期与迁飞关系密切,求偶前期愈长,迁飞潜力愈强,迁飞的期限和距离也愈长。同一地点羽化的粘虫蛾由于存在求偶前期的分化,造成了不同的迁飞距离或降落地点。求偶前期 2~5 日龄的个体均为居留个体,不能做远距离迁飞而留在原发生区被不适的环境所淘汰。求偶前期长为 6~9 日龄的个体可在 1~2 次迁飞夜内做远距离迁飞。根据雷达观察 1 夜可迁飞 480~744km<sup>[7]</sup>,越冬代区向 1 代区、1 代区向 2 代区、2 代区向 3 代区之间的中心带距离依次为 900、900、700km 左右,大部分个体可迁到适生区,求偶前期过长的个体(9 日龄以上的个体)因迁飞距离过远不能降落定居于适生区内被不适环境所淘汰。3 代向 4 代适生区迁飞则有所不同,由于两区中心带的距离长达 1400km 左右,跨度很

大,种群迁飞过程中对求偶前期短、迁飞距离短的个体淘汰比例较大,迁飞能力强、求偶前期长的个体比例增加。广东种群迁飞潜力大,由此推论第4代粘虫羽化后还可能有向南迁飞的过程,但降落地区至今不明,很可能迁至北纬 $10^{\circ}$ 以南地区,如印度尼西亚、马来西亚、菲律宾南部等地可能成为降落繁殖的适生区。在该地区羽化后向北迁至我国南部广东、广西、福建以及越南、泰国、柬埔寨、菲律宾北部等地,发生第6代粘虫(越冬代)。这次迁飞的粘虫蛾降落后与本地居留个体混交,基因混杂,产下子代,迁飞潜力得以调节平衡,羽化后又向一代适生区迁飞。周而复始,年复一年地这样进行,从而保持了种群复合的基因库。

表2 不同地理种群求偶前期

Table 2 Pre-calling period of various geographical populations of oriental armyworm

地点 Locale	样本 Sample(N)	求偶日龄 Calling day age										平均求偶前期(日龄) Mean pre-calling period (day age)( $\bar{X} \pm S_x$ )
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
江苏 Jiangsu	191	0	5	36	59	37	25	18	7	4	0	5.75±1.56 aA
吉林 Jilin	140	0	10	30	31	28	24	9	4	3	1	5.64±1.68 aA
山东 Shandong	36	0	3	5	11	7	6	3	1	0	0	5.58±1.50 aA
广东 Guangdong	107	1	5	16	12	14	12	23	14	5	5	6.77±2.19 bB

### 3 讨论

#### 3.1 成虫期行为

行为是一种有目的性的活动。根据对粘虫成虫期行为的观察分析,认为粘虫羽化后具有展翅、取食、飞翔、求偶或性反应交配和产卵等具有相对独立性的顺序性的不同行为阶段。飞翔行为可在取食期、飞翔期、求偶或性反应交配期、产卵期和停产停产期各期都发生,但其量和质都有所不同。在取食期,飞翔是以取食之间为寻找食物的零碎且持续时间短、振翅频率低为特征的取食飞翔。在飞翔期飞翔以翘尾水平位移运动为特征,飞翔量明显增加,且有1~2个飞翔峰日,峰日飞翔可达241min,极少取食为迁飞飞翔。在求偶、性反应交配期,雌蛾飞翔较多,飞翔是以依附物体上或停在空中振翅且不断抖动已伸出的产卵器为特征的非水平位移运动飞翔,这种飞翔为求偶交配飞翔;雄蛾飞翔以腹部末端向腹面弯曲并不断碰触物体为特征,是为寻求交配的性反应交配飞翔,并常追随求偶的雌蛾而飞翔。产卵期,雌蛾在交配次日都产卵,产卵间隙的飞翔为求偶交配飞翔。停产停交期,雌雄蛾生活力都已衰退,飞翔极少,飞翔持续时间均短。飞翔是粘虫远距离迁飞的直接行为,但从飞翔行为质和量的方面分析来看,飞翔以飞翔期内的飞翔在迁飞中最为重要。飞翔期内的飞翔为远距离迁飞飞翔,而飞翔期是性行为反应前期长的个体的一个特有阶段,雌雄蛾性行为反应前期分别短于6d和5d的居留型个体则无飞翔期。飞翔期粘虫已大量取食,为远距离迁飞做了充分的能源和物质准备,另一方面在此期生殖阶段还未来临,卵巢还未发育,体重负荷较小,是迁飞的良好时机。

#### 3.2 粘虫生殖与飞行的关系

Jonson C. G. 所提出的“卵子发生-飞行共轭”理论<sup>[20]</sup>及起飞常发生在幼嫩阶段后期的概念,已在许多迁飞昆虫中被证实。主要认为迁飞飞行与生殖在生理上是相互制约的,又同时受激素浓度的激发和控制。在保幼激素低滴度下激发飞行,而抑制生殖,在高滴度时则激发生殖抑制飞行,但80年代以来,Dingle<sup>[21]</sup>, Rankin<sup>[22]</sup>提出了相反意见,认为同一种保幼激素或神经分泌激素同时刺激飞行和生殖,即飞行中卵巢也在发育(如蝗虫、斑蝶、乳草长蝻、瓢虫等)。从本研究的结果来看,飞翔期与求偶、性反应交配期是二个明显相对独立的阶段。迁飞发生在迁飞个体所特有的飞翔期内,飞翔期内粘虫卵巢不发育,雄蛾无性反应;而求偶、性反应降落定居后卵巢迅速发育,是一种突变性的变化过程,雄蛾也才有性反应。因此,认为粘虫生殖与飞行的关系符合“卵子发生-飞行共轭”理论。

#### 3.3 粘虫的迁飞过程

迁飞性昆虫迁飞的整个过程一般可分为起飞、运行和降落定居3个阶段。粘虫远距离迁飞发生在迁飞个体所特有的飞翔期内,在飞翔期内如何完成此3个迁飞过程,讨论如下。

**3.3.1 起飞** 粘虫羽化0~2日龄大量取食,飞翔极少,而3日龄起飞翔明显增加,进入飞翔期,因此,从3日龄开始起飞。万勇数据<sup>[13]</sup>使羽化地缺少蜜源,被迫在0~2日龄内起飞的可能性也小。测飞试验0~2日龄取食与不取食的粘虫蛾飞行时间均短;3日龄后取食者飞行持续时间明显增加,而不取食者极短<sup>[13]</sup>。粘虫起

飞能源物质是脂肪,取食糖类转化为脂肪贮存<sup>[15,16]</sup>。饥饿蛾寿命短,仅为2~8d,平均5.7d。因此,粘虫羽化0~2日龄不起飞,而要在原羽化地取食一定量后才起飞迁出。

**3.3.2 运行** 迁飞昆虫迁飞运行过程中涉及的问题很多,此处仅讨论本研究所涉及的迁飞的累计时间和距离等问题。根据成虫行为观察,粘虫雌雄蛾均在羽化3日龄进入飞翔期,这与胡伯海等<sup>[13]</sup>的研究结果相同,但他们认为粘虫的迁飞期是在羽化3~5日龄。据观察粘虫个体迁飞的期限,也即飞翔期的长短,它与求偶、性反应前期长短密切相关,求偶、性反应前期愈长则迁飞期愈长。自然种群内个体的求偶、性反应前期有明显的变异分化,迁飞个体的求偶、性反应前期变异范围为5~11d,即个体迁飞期限变异范围为2~8d。因此,在同一时间、同一地点和同一种群内迁出的迁飞个体的迁飞期限和迁飞距离是不等同的。就一个个体来说,迁飞个体在其所特有的飞翔期内有1~2个飞翔峰(日),表明迁飞运行并非一次完成,而是昼伏夜飞,有多次再起飞和运行的行为习性。雷达已观察到再起飞的粘虫蛾群就是例证<sup>[7]</sup>。迁飞运行的结束要视生殖发育状况而定,一旦发生求偶或性反应便不再起飞运行作远距离水平飞翔,而在迁入地定居繁殖。

**3.3.3 定居** 粘虫降落是一个主动性明显的过程,同时也受下沉气流、降雨或锋面切变等外界因素的影响<sup>[10]</sup>。降落是否定居是由生殖决定的,一旦性行为出现,飞翔也就变为求偶、性反应交配飞翔,其特征是雌蛾依附物体上或停在空中并抖动产卵器的原地振翅飞翔,雄蛾以腹部末端内弯碰触物体寻求交配振翅飞翔;与此同时,雌蛾卵巢已迅速发育成熟,体重负荷量大。求偶、性反应出现的当夜即可进行交配,交配后无一例外地于次日开始产卵并持续5~6d,每天都有产卵。产卵间隙还有一些飞翔,但都为与迁飞飞翔性质不同的求偶交配飞翔,即使飞上高空,但因每天都有产卵也不能作远距离迁飞。因此,认为粘虫在性成熟后不再作远距离迁飞,这与蝗虫、金龟子、瓢虫和斑蝶在产卵期间仍可作再次迁飞<sup>[22]</sup>的现象不同。

## 参考文献

- [1] 李光博. 粘虫的综合防治. 见:中国科学院动物研究所主编. 中国主要害虫综合防治. 北京:科学出版社, 1979. 301~319.
- [2] 李光博,王恒祥,胡文秀. 粘虫的季节性迁飞为害假说及标记回收试验. 植物保护学报,1964,3(2):101~110.
- [3] 马世骏. 粘虫迁飞的生理生态背景. 科学通报,1963,9(6):65~68.
- [4] 李绵春,等. 吉林省粘虫猖獗世代发生虫源的研究 I,发生虫源的探讨和越冬问题. 昆虫学报,1965,14(4):21~30.
- [5] 陈永林,等. 中国渤海及黄海海面迁飞昆虫的初步观察. 昆虫学报,1963,12(2):137~147.
- [6] 陈瑞鹿,等. 吉林省粘虫猖獗世代发生虫源的研究 II. 虫源策源地的探讨. 植物保护学报,1965,4(1):49~57.
- [7] 陈瑞鹿,等. 粘虫春季迁入东北的雷达观测. 中国迁飞性昆虫研究进展学术讨论文摘要汇编. 1989,13~14.
- [8] 林昌善,等. 粘虫发生规律的研究 I. 东北春季粘虫发生与风的关系. 昆虫学报,1963,12(3):243~258.
- [9] 林昌善,等. 粘虫发生规律的研究 IV. 与粘虫蛾远距离迁飞降落过程有关的物理因素分析. 植物保护学报,1963,2(2):111~122.
- [10] 赵圣菊,等. 低层大气垂直运动对粘虫起飞、降落的影响. 生态学报,1981,1(2):136~145.
- [11] 郭 郭,等. 粘虫生殖的研究 I. 成虫的一般特性. 昆虫学报,1963,12(5~6):565~576.
- [12] 侯无危. 粘虫蛾的活动习性观察. 昆虫知识,1964,1(5):197~200.
- [13] 胡伯海,等. 粘虫迁飞模拟试验. 生态学报,1983,3(4):367~373.
- [14] 黄冠群,等. 粘虫蛾飞翔研究 I. 飞翔持续时间和振翅频率. 昆虫学报,1966,15(2):96~104.
- [15] 邹运鼎,等. 粘虫迁飞能源物质的研究. 生态学报,1984,4(4):372~376.
- [16] 钦俊德. 粘虫营养的研究——成虫对于糖类的取食和利用. 昆虫学报,1964,13(6):773~783.
- [17] 毕富春. 粘虫简易人工饲料及防腐剂对其生长发育的影响. 昆虫知识,1983,20(6):260~263.
- [18] 吴秋雁,等. 粘虫生殖的研究 III. 生殖系统的发育. 昆虫学报,1964,13(6):795~801.
- [19] 韩尔宁,等. 粘虫不同迁飞世代雄蛾对性诱剂反应的田间观察. 南京农业大学学报,1990,13(3):54~56.
- [20] John C G. Migration and diapause of insect by flight. Methwen, London 1969.
- [21] Dingle H. Function of migration in the seasonal synchronization of insects. *Ent. Exp. Appl.*, 1982, 31: 36~48.
- [22] Rankin M A. Migration: mechanisms and significance. 1986.