

二点委夜蛾卵巢发育的形态变化过程及分级标准

罗 丹, 周亚媛, 何运转*

(河北农业大学植物保护学院, 保定 071000)

摘要 二点委夜蛾 *Athetis lepigone* 是夏玉米苗期的一种重要害虫。为了对该虫进行有效预测预报, 对其卵巢发育的形态变化过程进行了观察并分级。将室内饲养的二点委夜蛾雌蛹按不同日龄进行解剖, 雌成虫按每 12 h 进行解剖, 观察不同时间卵巢的发育情况, 并测量卵巢管长度及第一卵室长度和宽度。二点委夜蛾的卵巢形成于蛹期并在蛹期完成其基本形态发育过程, 具有 1 对卵巢, 各由 4 根卵巢管组成。根据有无卵粒和卵黄沉积情况可将其卵巢发育分为 5 个时期: 未分化期(I 级); 乳白透明期(II 级); 卵黄沉积期(III 级); 成熟待产期(IV 级); 产卵末期(V 级)。从发育进度来看, 蛹期是卵巢大小和卵巢管长度快速增长的阶段。蛹期第 3 天开始出现卵巢形态分化, 卵粒发生始于蛹期第 5 天至第 6 天, 到蛹期第 7 天卵巢形态结构即发育完成。羽化后雌虫卵巢继续发育, 卵粒不断膨大、卵巢管逐渐增长并出现卵黄沉积, 至羽化后 48~60 h 卵巢管第一卵室长和宽及卵巢管的长度均已达到最大值, 分别为 $0.58\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ 、 $0.55\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ 以及 $16.91\text{ mm}\pm 0.58\text{ mm}$ 。本研究明确了二点委夜蛾卵巢发育的形态变化过程和分级标准, 为二点委夜蛾的生殖生理学研究提供理论基础, 并为该虫的预测预报提供依据。

关键词 二点委夜蛾; 卵巢发育; 卵巢解剖; 分级

中图分类号: S 435.132 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019016

Processe of morphological change and classification of ovarian stages of the *Athetis lepigone*

LUO Dan, ZHOU Yayuan, HE Yunzhan*

(College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

Abstract *Athetis lepigone* (Möschler) is an important pest of summer corn at seedling stage. In order to effectively predict the occurrence of *A. lepigone*, the morphological changes and the ovarian grades were investigated in this study. Female pupae and adults reared in the laboratory were dissected according to the daily age and every 12 hours, respectively. The developmental characteristics of ovaries in different stages were observed. The length of the ovarian tube, the length and width of the first egg chamber were measured. The results indicated that the ovary of *A. lepigone*, consisting of paired ovaries with each ovary consisting of four ovarian tubes, was formed in the pupa stage and completed its basic morphological development during this period. The ovarian development of *A. lepigone* was divided into five stages according to external ovarian morphological characteristics, appearance or disappearance of an egg chamber and yolk deposition, including the initial period (Stage I), transparent period (Stage II), yolk deposition period (Stage III), egg maturation period (Stage IV), and late egg-laying period (Stage V). During the overall developmental progress, the pupal stage underwent a rapid growth in the ovarian size and ovarian tube length. Ovarian differentiation began on the 3rd day of the pupal stage. Eggs began to appear on the 5th to 6th day of the pupal stage, and the morphological structure of the ovary was basically completed on the 7th day of the pupal stage. After eclosion, with continued development of the ovary, the egg continued to expand, and the ovarian tube gradually grew and yolk deposition began to appear. The length and width of the first egg chamber and the length of the ovarian tube reached the maximum at 48–60 hours after emergence, which were $0.58\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$, $0.55\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ and $16.91\text{ mm}\pm 0.58\text{ mm}$, respectively. In this study, we observed the morphological change during the ovarian development of *A. lepigone* and proposed a classification method, which provided a scientific reference for forecasting and integrated management of this pest.

Key words *Athetis lepigone*; ovarian development; ovarian dissection; classification

收稿日期: 2019-01-08 修订日期: 2019-04-18

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201303026); 河北省科技厅项目(112203010); 河北农业产业技术体系(HBCT2018060204)

* 通信作者 E-mail: heyz63@sina.com

二点委夜蛾 *Athetis lepigone* (Möschler) 是我国黄淮海夏玉米区新发生的玉米苗期害虫, 2005 年首次发现于河北省夏玉米田^[1]。目前已知分布于欧洲和亚洲的 24 个国家。二点委夜蛾是一种杂食性昆虫^[2], 以幼虫为害, 幼虫喜好生活在覆盖麦秆较多的夏玉米地中, 蛀食玉米苗的茎基根部, 导致玉米心叶萎蔫和倒伏死亡^[3-4]。近年来二点委夜蛾发生范围不断扩大, 为害程度日趋严重, 2011 年其在我国 7 个省市地区相继暴发, 严重威胁我国夏玉米的安全生产^[5]。

研究昆虫生殖系统发育过程是昆虫种群数量动态预测预报的重要方法之一^[6]。二点委夜蛾成虫具有繁殖力强, 迁飞扩散能力强, 幼虫隐蔽性强等特点, 不易被察觉, 往往暴发成灾才引起注意^[7]。因此, 为了对二点委夜蛾成虫进行有效的预测预报, 研究其成虫卵巢的发育过程以及分级标准, 可获得应用于预测预报的指标^[8], 为分析该虫在田间发生期和种群数量动态变化提供依据, 对害虫的预测预报具有重要的实践意义。

目前国内外学者关于昆虫卵巢发育已有一定报道, 其中对鳞翅目、膜翅目和鞘翅目等多种昆虫的卵巢进行了研究, 并提出了分级方法, 如李学军等^[9]关于棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner)、吴秋雁等^[10]关于黏虫 *Mythimna separata* (Walker)、欧阳倩等^[11]关于瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) 和陈洁等^[12]关于异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 的研究。但有关二点委夜蛾卵巢发育方面的研究很少, 目前仅李立涛等^[13]对羽化后的成虫卵巢进行了分级研究。而本课题组在试验中观察发现, 该成虫的平均产卵前期一般仅有 2 d, 甚至有的在羽化后第 2 天即可产卵, 从而推测卵巢的发育应该是在蛹期就已经完成, 鉴于此, 本研究从蛹期开始, 通过解剖的方法, 系统地观察卵巢发育的整个过程, 并提出二点委夜蛾卵巢发育的分级标准, 为二点委夜蛾的生物学研究和田间预测预报提供理论基础, 并为该虫的有效综合防治提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试虫源: 二点委夜蛾饲养在温度为 $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $80\% \pm 5\%$ 、光周期 $L/D=16\text{ h}/8\text{ h}$ 的室内培养箱内。用自制的人工饲料喂养幼虫,

10% 的蜂蜜水喂养成虫, 最后选择发育情况良好, 个体大小适中的昆虫作为供试材料。

试剂: 75% 乙醇、10% NaOH 溶液、生理盐水、甘油。

仪器: 人工气候箱、连续变倍体式解剖镜、蔡斯立体显微镜、UV-C 光学共聚焦显微图像系统、蜡盘、昆虫针、解剖针、眼科手术镊子、手术剪、黑色卡纸、培养皿、试管、胶头滴管、小烧杯、小毛刷、广口瓶、锥形瓶、佳能单反相机、昆虫拍照灯箱。

1.2 试验方法

1.2.1 雌蛹和雌蛾的取样

取老熟幼虫, 放入指形管中, 每管一头, 置于 $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 人工气候箱内。每天 8:00 和 20:00 各观察一次其化蛹情况, 收集成虫羽化前的每日龄蛹各 15 头, 解剖并观察蛹期的卵巢结构及形态变化过程, 测量卵巢管的长度和第一卵室的长、宽等参数。

随机取蛹, 放入指形管中, 每天 8:00 和 20:00 各观察一次羽化情况。将羽化后的雌蛾按雌雄 1:1 配对, 转入塑料杯里单独饲养, 并饲喂 10% 蜂蜜水。按照 0~12 h, 12~24 h, 24~36 h, 36~48 h, 48~60 h 的时间段收集待解剖雌蛾, 分别收集各时间段羽化的雌蛾 15 头, 解剖并观察卵巢结构及形态变化过程, 测量卵巢管的长度和第一卵室的长、宽等参数。

根据本实验室研究发现, 该虫产卵末期通常出现在羽化后 8 d 左右, 因此取该时期的雌蛾 15 头解剖观察产卵末期的卵巢形态。

1.2.2 卵巢解剖方法

于生理盐水中解剖供试雌蛾卵巢。先用解剖针从头部插下, 将其背部朝上固定在蜡盘中, 剪去足、翅。用手术剪从腹部末端处开剪, 剪至头胸交界处, 并注意保持剪刀口略微上挑。用小镊子将腹壁轻轻撕开, 并用解剖针将其固定, 此时可见一对卵巢、消化道以及充盈在整个腹腔空隙的脂肪体。小心去除消化道和卵巢周围的脂肪体。观察卵巢形态并拍照, 用目镜测微尺测量卵巢管长度、第一卵室的长度和宽度。

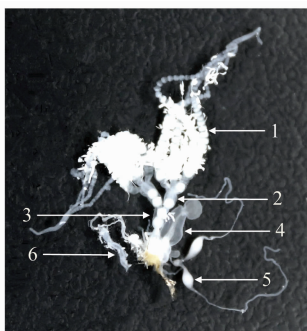
1.3 数据处理

采用 SPSS 20.0 软件对数据进行统计分析, 采用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验, $P < 0.05$ 时差异显著。图表制作采用 Excel 2010 完成。用 Adobe Photoshop CS 8.0.1 软件对所拍照片进行编辑和处理。

2 结果与分析

2.1 二点委夜蛾雌性内生殖系统的基本特征

二点委夜蛾的雌性内生殖系统主要是由卵巢、侧输卵管、中输卵管、受精囊、交配囊和黏液腺组成(图1)。二点委夜蛾雌性具有1对卵巢,分别位于消化道两侧,每个卵巢由4根卵巢管组成,卵巢前端有悬带附着于体壁,卵巢后端经由侧输卵管和中输卵管相连组成。中输卵管由2条侧输卵管延伸到消化道下方汇合成为一条较粗的管道,连接产卵器。



1: 卵巢; 2: 侧输卵管; 3: 中输卵管; 4: 交配囊; 5: 黏液腺; 6: 受精囊
1: Ovary; 2: Lateral oviduct; 3: Median oviduct; 4: Copulatory pouch;
5: Mucous gland; 6: Spermatheca

图1 二点委夜蛾雌性内生殖系统

Fig. 1 The reproductive system of a mature female *Athetis lepigone*

2.2 卵巢发育过程观察

通过解剖观察发现,二点委夜蛾的卵巢发生于蛹期(图3a),在羽化后48~60 h卵巢发育成熟开始产卵。

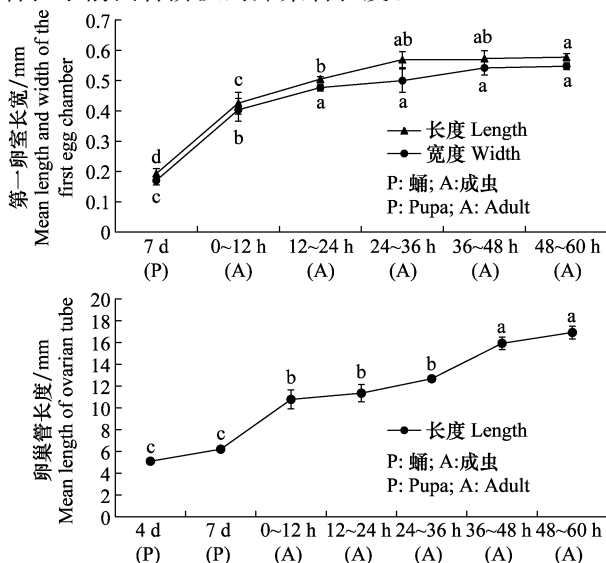
蛹期。蛹期第3天可观察到一个无色透明、椭圆状组织,其位于生殖孔的前方、为后期卵巢着生的位置,推测是未分化的卵巢原基(图3a)。蛹期第4天,可观察到一对细小的卵巢管和输卵管,卵巢管长约5 mm,内部无卵室,无色透明,卵巢的4根卵巢管已经能区分出卵管部分和卵管柄部分(图3b)。蛹期第5~6天,卵巢呈乳白透明色,卵巢管增长,开始出现透明的卵粒(图3c)。蛹期第7天,卵巢管继续增长,卵粒逐渐膨大,整个卵巢呈白色,卵巢发育基本完成(图3d)。

成虫期。羽化后0~24 h的卵巢和蛹期第7天无明显差异。从羽化后24~48 h,卵巢各部分无明显变化,只是开始出现卵黄沉积现象,卵巢由白色逐渐变为黄色(图3e)。羽化后48~60 h,卵粒黄色,十分饱满,卵巢发育完成开始产卵,甚至有的成熟的卵已排入侧输卵管中(图3f)。成虫羽化第8天以后因大部分卵粒已产出,卵巢管中卵粒稀疏,卵巢管显

著收缩,腹腔内脂肪体十分稀少(图3g)。

蛹期到羽化后24 h内是卵巢快速发育的时期,其中也是第一卵室的长度、宽度快速增长的时期,呈显著增长的趋势。如图2a,蛹期至羽化后0~12 h是第一卵室长和宽发育速率最快的时期,两个时期具有显著性差异。羽化后0~12 h和12~24 h为第二个速率较快增长的时期,但较前一时期的增长速率有变缓慢的趋势,且两个阶段具有显著性差异。从24 h以后,长和宽的增长速率变缓,且在各时间段内无显著性差异。相比较而言长度的增长速率快于宽度的。至48~60 h长和宽已达到最大值,分别为 $0.58 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ 和 $0.55 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ 。

卵巢管在蛹期至羽化后0~60 h内,长度具有明显变化,随着发育时间的增加而增长,整体呈现出缓慢增长的趋势(图2b)。羽化前即4 d、7 d的蛹卵巢管长度显著短于羽化后各时间段,且这两个时间段内长度无显著性差异。羽化后0~36 h内,卵巢管的长度开始呈缓慢增长趋势。0~12 h,12~24 h,24~36 h,3个时间段内卵巢管长度无显著差异,但显著长于未羽化之前的,并显著短于羽化后36~60 h时间段内的。羽化后36~60 h内卵巢管呈现快速增长趋势,并在羽化后48~60 h达到顶峰,为 $16.91 \text{ mm} \pm 0.58 \text{ mm}$,显著长于前面各阶段的卵巢管长度。



图中线条上不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著
Different lowercase letters indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test

图2 二点委夜蛾卵巢管发育的动态

Fig. 2 The developmental dynamics of the ovarian tubes of female *Athetis lepigone*

2.3 卵巢分级

随着昆虫个体发育日龄的增加,雌虫的卵巢逐渐发育。自蛹期至羽化后卵粒发育成熟,根据有无卵

室和卵黄沉积情况将二点委夜蛾卵巢发育初步划分为 5 级:未分化期(I级)、乳白透明期(Ⅱ级)、卵黄沉积期(Ⅲ级)、成熟待产期(Ⅳ级)、产卵末期(V级)。

表 1 二点委夜蛾卵巢分级特征
Table 1 Grading characteristics of ovarian development of *Athetis lepigone*

级别 Grade	发育历期 Developmental duration	发育特征 Developmental characteristics	脂肪体特征 Feature of the fat body
I 级未分化期(图 3:a-b) The initial period (Fig. 3:a-b)	蛹 4 d	无卵室,卵巢管细小、乳白透明状	乳白色,浓稠液体状
Ⅱ级乳白透明期(图 3:c-d) Transparent period (Fig. 3:c-d)	蛹 4 d—羽化后 24 h	出现透明卵粒,卵巢管逐渐膨大,卵巢乳白色	乳白色,浓稠液体,碎末状或块状
Ⅲ级卵黄沉积期(图 3:e) Vitellogenesis period (Fig. 3:e)	羽化后 24~48 h	卵粒逐渐饱满,卵巢管明显膨大,出现卵黄沉积,卵巢逐渐呈黄色	乳白色,碎末或块状
Ⅳ级成熟待产期(图 3:f) Egg maturation period (Fig. 3:f)	羽化后 48~60 h	卵巢黄色,卵粒膨大,有时卵粒已达到侧输卵管中	黄白色,块状或部分丝状
V 级产卵末期(图 3:g) Late egg-laying period (Fig. 3:g)	羽化后 8 d	卵粒稀少,卵巢管缩短	白色,丝状,稀少

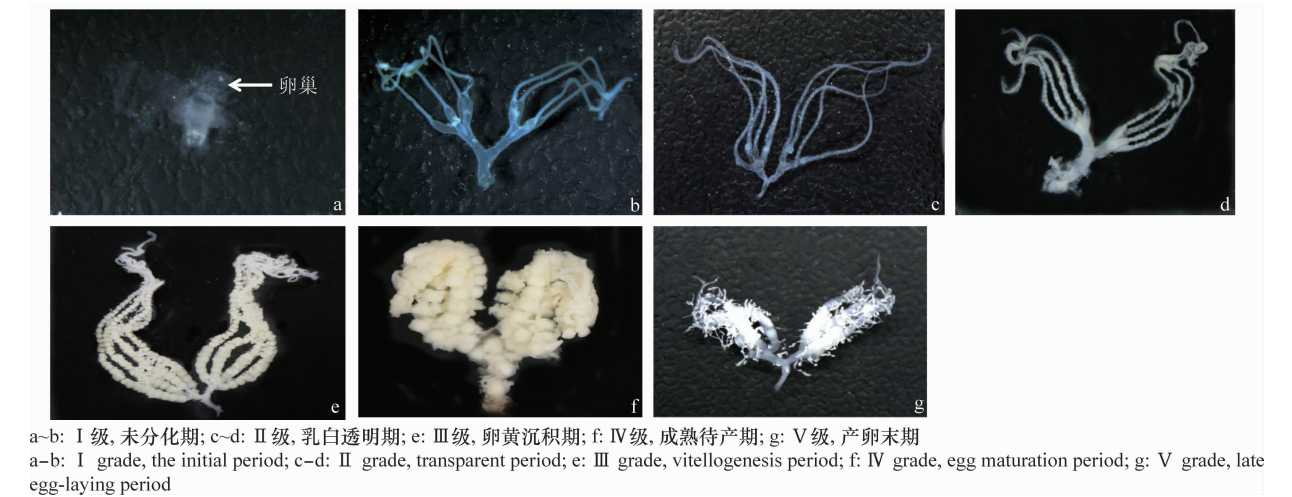


图 3 二点委夜蛾卵巢发育过程形态变化
Fig. 3 Morphological changes during the development of ovaries in *Athetis lepigone* females

3 讨论

目前对于卵巢发育分级的方法很多,根据卵巢管形态结构、卵黄发生情况和脂肪体等其他特征,昆虫的卵巢发育一般可分为 4~6 个级别。许多昆虫如草地螟 *Loxostege sticticalis* (L.)^[14]、甜菜夜蛾 *Laphygma exigua* (Hübner)^[15]、异色瓢虫^[12] 等的卵巢发育被分为 4 个级别;也有研究将黏虫^[16]、棉铃虫^[17]、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée)^[18]、褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål)^[19] 等的卵巢发育分为 5 个级别;或将卵巢发育分为 6 个级别的,如瓜实蝇^[11] 和加勒比按实蝇 *Anastrepha suspensa*

(Loew)^[20] 等。本研究根据不同发育时期的卵巢管有无卵粒和卵黄沉积的情况,将二点委夜蛾的卵巢发育分为 5 级:未分化期(I级)、乳白透明期(Ⅱ级)、卵黄沉积期(Ⅲ级)、成熟待产期(Ⅳ级)、产卵末期(V级)。这与刘宁等^[21] 关于苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* (L.) 卵巢发育的分级标准相一致。

据研究报道有关鳞翅目昆虫,如黏虫、家蚕 *Bombyx mori*、蓖麻蚕 *Philosamia cynthia ricini* 和柞蚕 *Antheraea pernyi* 等的卵巢均形成于蛹期。本研究结果表明,二点委夜蛾卵巢的发育开始于蛹期,在蛹末期就已经可见发育完整的卵巢。这与吴秋雁等^[10] 关于黏虫的研究,发现在成虫羽化前卵巢就基本发育完

成的研究结论相一致。但李立涛等^[13]关于二点委夜蛾卵巢的研究表明,雌虫羽化后 0.5 d 卵粒还未形成,羽化后 0.5~2 d 卵粒开始形成,卵巢管略微膨大。这与本研究结论存在较大差异,产生这一差异的原因可能有两点:一是其研究中每日随机解剖 5 头同一龄期的雌蛾,观察卵巢发育情况,其解剖样品数量太少。二是幼虫期饲喂不同人工饲料以及饲养条件差异等也可能导致卵巢发育进度不同的原因。

昆虫在田间的产卵量决定着害虫的发生规模,而卵巢发育可以测报田间卵量趋势。二点委夜蛾的卵常产于小麦秸秆堆下,增加了预测预报的难度。据研究报道有关卵巢形态参数可作为判定卵巢等级的有效依据,Chou 等^[22]关于橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 卵巢发育的研究认为卵巢长度是判断所处发育期的最有效依据。而 Kendra 等^[20]对加勒比按实蝇卵巢的研究认为卵黄沉积所引起的卵母细胞的变化与卵巢指数相结合可以准确判断卵巢发育级别。本研究中所采用的 2 个形态参数中,第一卵室的长度、宽度和卵巢管长度参数能够较准确地判定卵巢的发育等级,且结合卵巢长度和卵黄发生是 2 个关键的判断依据。这与欧阳倩等^[11]对瓜实蝇卵巢的研究报道一致。在二点委夜蛾的预测预报中,可通过解剖捕获的雌蛾,测量卵巢参数判定其发育级别。并结合当地气候条件(温度、湿度和光照)对二点委夜蛾的产卵期进行预测预报,为二点委夜蛾的防治和控制提供依据。

迁飞行为使昆虫能选择适合的生境,增加种群生存繁衍的机会。根据对多种迁飞性昆虫的研究,昆虫迁飞与卵巢发育密切相关,迁飞行为发生在卵巢发育早期(产卵前期)^[23],一旦生殖器官发育成熟,成虫便很少能作远距离迁飞,故成虫适于迁飞的生理时期,可用作衡量该虫迁飞可能性的尺度。据研究报道,棉铃虫属于兼性迁飞性害虫,部分地区的棉铃虫成虫羽化后卵巢发育迅速,适合于迁飞的生理时期短,只有 1~2 个夜晚,故一般年份虫群迁飞较少^[24]。郑作涛等^[25]对二点委夜蛾的研究已表明,成虫具有较强的被动飞行潜力,Fu 等^[26]的研究则进一步表明二点委夜蛾成虫具有越海的远距离迁飞习性,但本研究发现二点委夜蛾卵巢在蛹期形成、羽化后仅 2 d 左右^[27]开始产卵,产卵前期较短,表明其不具备适合于迁飞的生理时期,推测是与棉铃虫类似的兼性迁飞害虫。因此,通过观察二点委夜蛾的

卵巢发育进度,也可用于判断和预测该种群或地区二点委夜蛾迁飞的可能性,对该害虫的监测工作具有指导意义。

根据研究报道二点委夜蛾产卵前期较短,因此本研究中卵巢解剖采用时间间隔为 12 h,时间间隔较短,基本明确了二点委夜蛾卵巢发育的形态变化过程。另外,大多数昆虫均有在成虫羽化后需取食补充营养才能完成其生殖发育的习性;而鉴于其短促的产卵前期,补充营养对其生殖力是否有影响,还需要进一步探索研究。

此外,本文明确了二点委夜蛾卵巢的形态结构、发育过程和分级标准。但对于其卵子发生和卵黄蛋白动态变化的过程还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 姜京宇,席建英. 河北省 2005 年农作物病虫害新动态概述[J]. 中国植保导刊, 2006(7): 45-47.
- [2] LIU Y J, ZHANG T T, BAI S X, et al. Effects of host plants on the fitness of *Athetis lepigone* (Möschler)[J]. Journal of Applied Entomology, 2015, 139(6): 478-485.
- [3] 李立涛,马继芳,董立,等. 二点委夜蛾的形态、为害及防控[J]. 中国植保导刊, 2011, 31(8): 22-24.
- [4] 董志平,甘耀进,董立,等. 二点委夜蛾在河北危害夏玉米的调查简报[J]. 河北农业科技, 2007(9): 19.
- [5] 王振营,石洁,董金泉. 2011 年黄淮海夏玉米区二点委夜蛾暴发危害的原因与防治对策[J]. 玉米科学, 2012, 20(1): 132-134.
- [6] 李汝铎,王金其,苏德明. 昆虫卵巢发育与害虫预测预报[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1987: 31-84.
- [7] 江幸福,罗礼智,姜玉英,等. 二点委夜蛾发生为害特点及暴发原因初探[J]. 植物保护, 2011, 37(6): 130-133.
- [8] 张春辉. 卵巢解剖在害虫测报和防治上的应用[J]. 中国农学通报, 1994(1): 53.
- [9] 李学军,刘世栋,王淑贤,等. 棉铃虫雌蛾卵巢发育分级浅探[J]. 植保技术与推广, 1993(5): 17.
- [10] 吴秋雁,郭鄂. 粘虫生殖的研究Ⅲ. 生殖系统的发育[J]. 昆虫学报, 1964(6): 795-802.
- [11] 欧阳倩,莫如江,吴伟坚. 瓜实蝇卵巢的发育阶段及分级[J]. 生物安全学报, 2014(1): 24-29.
- [12] 陈洁,吴春娟,张青文,等. 异色瓢虫卵巢发育及卵子发生过程观察[J]. 植物保护学报, 2015, 15(2): 237-243.
- [13] 李立涛,王玉强,刘磊,等. 二点委夜蛾卵巢发育分级及在预测预报中的应用[J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(4): 1043-1047.
- [14] 孙雅杰,陈瑞鹿,王素云,等. 草地螟雌蛾生殖系统发育的形态变化[J]. 昆虫学报, 1991, 34(2): 248-249.
- [15] 王宪辉,徐洪富,许永玉,等. 甜菜夜蛾雌性生殖系统结构、发育分级及在测报上的应用[J]. 植物保护学报, 2003, 30(3): 261-266.

- ceous host plants [J]. *Environmental Entomology*, 2010, 39(2): 618–624.
- [4] SHI Xiaobin, CHEN Gong, TIAN Lixia, et al. The salicylic acid-mediated release of plant volatiles affects the host choice of *Bemisia tabaci* [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2016, 17(7): 1048.
- [5] 龚建. 白星花金龟对植物挥发物的选择行为研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2017.
- [6] 秦玉川. 昆虫行为学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [7] 宋静, 黄静, 王雷英, 等. 二化螟性信息素对稻螟赤眼蜂寄生能力及田间寄生效果的影响[J]. *中国生物防治学报*, 2017, 33(4): 481–486.
- [8] 符文俊, 杜家伟. 昆虫利它素[J]. *昆虫知识*, 1981, 18(3): 132–135.
- [9] NYASEMBE V O, TEAL P E A, MUKABANA W R, et al. Behavioural response of the malaria vector *Anopheles gambiae* to host plant volatiles and synthetic blends [J]. *Parasites & Vectors*, 2012, 5(1): 234.
- [10] ANFORA G, VITAGLIANO S, LARSSON M C, et al. Disruption of *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) oviposition by the application of host plant volatiles [J]. *Pest Management Science*, 2014, 70(4): 628–635.
- [11] 钦俊德. 昆虫与植物的关系: 论昆虫与植物的相互作用及其演化[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [12] LU Wen, WANG Qiao, TIAN Mingyi, et al. Host selection and colonization strategies with evidence for a female-produced oviposition attractant in a longhorn beetle [J]. *Environmental Entomology*, 2011, 40(6): 1487–1493.
- [13] 王振营, 周大荣. 玉米螟赤眼蜂的产卵行为研究[J]. *中国生物防治学报*, 1996, 12(4): 145–149.
- [14] 张毅波, 刘万学, 万方浩, 等. 豌豆潜蝇姬小蜂对美洲斑潜蝇幼虫的寄生产卵和取食寄主行为描述[J]. *中国生物防治学报*, 2010, 26(3): 248–253.
- [15] HANY M K. Antennal sensory receptors of *Pteromalus puparum* female (Hymenoptera: Pteromalidae), a gregarious pupal endoparasitoid of *Pieris rapae* [J]. *Microbiology*, 2009, 40(8): 769–774.
- [16] 何俊华. 寄生蜂怎样寻找寄主[J]. *昆虫知识*, 1980(2): 83–85.
- [17] 唐宇翀, 周成理, 陈晓鸣. 植食性昆虫产卵行为生态学研究进展[J]. *林业科学研究*, 2010, 23(5): 770–777.
- [18] 李胜振, 张文娟, 熊梅, 等. 调节昆虫产卵行为的化学物质研究进展[J]. *华中昆虫研究*, 2014, 10(12): 117–123.
- [19] 张丛丛, 王蒙, 苏鹏, 等. 香樟齿喙象的交配和产卵行为[J]. *昆虫学报*, 2017, 60(10): 1208–1215.
- [20] 唐宇翀, 陈晓鸣, 周成理. 金斑螟成虫行为学特征[J]. *林业科学研究*, 2017, 30(1): 131–136.
- [21] 董子舒, 张玉静, 段文博, 等. 植食性昆虫产卵寄主选择影响因素及机制的眼睛进展[J]. *南方农业学报*, 2017, 48(5): 837–843.
- [22] HARVEY J A. The developmental strategies of endoparasitoid wasps vary with host feeding ecology [J]. *Ecology*, 2002, 83(29): 2439–2451.
- [23] 江婷, 付道猛, 吴珍平, 等. 蝶蛹金小蜂对黑纹粉蝶蛹的寄生产卵习性[J]. *中国生物防治学报*, 2018, 34(2): 240–246.
- [24] 吴洪源, 张德海, 陈道玉. 圆柏大瘿小蜂生物生态学研究[J]. *林业科学*, 1992, 28(4): 367–371.
- [25] 吴洪源, 张德海, 陈道义. 圆柏大瘿小蜂羽化期的预测预报研究[J]. *林业实用技术*, 1992(7): 22–23.
- [26] 李秉新, 张继义, 傅辉恩. 圆柏大瘿小蜂生活习性及防治技术的研究[J]. *甘肃林业科技*, 1991(4): 30–35.
- [27] 李秉新, 吕东, 张宏斌, 等. 祁连圆柏林圆柏大瘿小蜂幼虫空间分布格局[J]. *环境昆虫学报*, 2014, 36(2): 276–282.
- [28] 吕东, 李秉新, 张宏斌, 等. 圆柏大瘿小蜂羽化的生态学特性及幼虫空间分布[J]. *应用昆虫学报*, 2017, 54(1): 169–174.
- [29] 姚文锋. 小果垂枝柏大瘿小蜂生物学和生态学特性研究[D]. 昆明: 西南林学院, 2008.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 144 页)

- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T15798–2009, 粘虫测报调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [17] 张韵梅, 牟吉元. 棉铃虫卵巢发育的组织化学及测报分级的研究[J]. *山东农业科学*, 1994(3): 7–9.
- [18] 钱仁贵. 玉米螟卵巢解剖及应用初报[J]. *昆虫知识*, 1982(5): 15–17.
- [19] 芦芳, 齐国君, 秦冉冉, 等. 褐飞虱卵巢发育的形态变化过程及分级标准[J]. *应用昆虫学报*, 2011(5): 1394–1400.
- [20] KENDRA P E, MONTGOMERY W S, EPSKY N D, et al. Assessment of female reproductive status in *Anastrepha suspensa* (Diptera: Tephritidae) [J]. *Florida Entomologist*, 2006, 89: 144–151.
- [21] 刘宁, 张彩虹, 张艳, 等. 苹果蠹蛾卵成熟过程及卵巢发育分级研究[J]. *果树学报*, 2018, 35(9): 1098–1104.
- [22] CHOU M Y, MAU R F L, JANG E B, et al. Morphological features of the ovaries during oogenesis of the Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*, in relation to the physiological state [J]. *Journal of Insect Science*, 2012, 12: 1–12.
- [23] 齐国君, 芦芳, 胡高, 等. 卵巢解剖在我国迁飞昆虫研究中的应用[J]. *中国植保导刊*, 2011, 31(7): 18–22.
- [24] 张孝羲, 郑祖强, 谢俊英, 等. 棉铃虫兼性迁飞的初步研究[J]. *植保技术与推广*, 1998(3): 3–5.
- [25] 郑作涛, 江幸福, 张蕾, 等. 二点委夜蛾飞行行为特征[J]. *应用昆虫学报*, 2014, 51(3): 643–653.
- [26] FU Xiaowei, LIU Yongqiang, LI Yunhe, et al. Does *Athetis lepigone* moth (Lepidoptera: Noctuidae) take a long-distance migration? [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2014, 107(3): 995–1002.
- [27] 郭于蒙, 曹美琳, 白雪纯, 等. 光周期对二点委夜蛾生长发育的影响[J]. *植物保护学报*, 2018, 45(4): 731–738.

(责任编辑: 田 喆)