

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2025.05.010

## 烟蚜茧蜂寄生豌豆蚜后二者不同发育阶段的形态观察

刘雅飞, 刘佳丽, 马力

山西农业大学 植物保护学院, 太原 030031

**摘要:** 为探究烟蚜茧蜂(*Aphidius gifuensis* Ashmead)寄生对豌豆蚜(*Acyrtosiphon pisum*)外部形态的影响,于山西农业大学周边苜蓿种植区域采集僵蚜,在实验室孵化并建立稳定种群,选取长期饲养的豌豆蚜种群为实验对象。将未孵化的僵蚜连同寄主植物组织置于特定饲养盒内,以新鲜豌豆苗茎叶为饲料,每24 h更换一次,每盒成虫不超过20头。在蚜茧蜂寄生后的第24、72、120、168 h等关键时间点,系统观察寄生蚜虫的外部形态。结果显示,寄生后豌豆蚜体型明显膨大,体色逐渐加深,触角、足等附肢结构在寄生后期逐渐萎缩,最终形成僵蚜。研究证实寄生蜂寄生对豌豆蚜外部形态及生理活动影响显著,这些改变与豌豆蚜自身生理防御反应及体内寄生蜂幼虫生长发育密切相关。

**关键词:** 寄生蜂; 豌豆蚜; 外部形态;

生物防治; 形态学观察

中图分类号: S476.3

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2025)05-0081-09

## Morphological Observation of Different Developmental Stages of Pea Aphids after Parasitized by Aphid Cocoon Wasps

LIU Yafei, LIU Jiali, MA Li

College of Plant Protection, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China

**Abstract:** In order to explore the effect of parasitic wasp parasitizing on the external morphology of pea aphid, this study collected zombie aphids from the alfalfa planting area around Shanxi Agricultural University, hatched them and established the stable populations in the laboratory. A long term raised stable pea aphid population was selected and used as the experimental object. The unhatched zombie aphids and part of the host plant tissues were placed in a specific breeding box for incubation and fed with fresh stems and leaves of pea seedlings, with no more than

收稿日期: 2025-06-29

基金项目: 山西省自然科学基金项目(202103021223125)。

作者简介: 刘雅飞, 主要从事昆虫生理生化与免疫研究。

通信作者: 马力, 博士, 副教授。

20 adults in each box. The feed was replaced every 24 hours. At the key time points such as 24、72、120、168 hours after parasitized by aphid cocoon wasp, the external morphology of the parasitized aphids was observed. The results showed that the body size of the pea aphid was significantly enlarged after parasitizing, and the body color was gradually darken. The appendage structures such as antennae and feet were gradually atrophied in the late stage of parasitism, and finally formed “zombie aphid”. The results showed that parasitic wasp parasitizing had a significant effect on the external morphology and physiological activities of pea aphids. These changes were closely related to the physiological defense response of pea aphids and the growth and development of parasitic wasp larvae in vivo. This study provides a morphological basis for understanding the interaction between parasitic wasps and pea aphids, and also provides a theoretical reference for the biological control of pea aphids using parasitic wasps.

**Key words:** parasitic wasp; pea aphid; external morphology; biocontrol; morphological observations

烟蚜茧蜂(*Aphidius gifuensis* Ashmead)隶属膜翅目,是蚜虫重要的寄生性天敌昆虫之一,常用于田间蚜虫的生物防治<sup>[1-4]</sup>。烟蚜茧蜂为变态昆虫,生命周期涵盖卵、幼虫、蛹、成虫4个阶段<sup>[5]</sup>。卵、幼虫、蛹在蚜虫体内发育,成虫在蚜虫体外发育。其体长约2.5 mm,身体分为头、胸、腹三部分,头部光滑,颜色接近黑色,宽处超过胸部。头顶有两根细长的触丝,长度接近身体的总长。口器咀嚼式,胸部黑色,腹部褐色,上有一对翅和三对足,翅为透明的膜质,有艳丽的光泽,大部分时间都收在身体上,三对足细长<sup>[6]</sup>。

豌豆蚜(*Acyrtosiphon pisum*)属同翅目蚜科刺吸类害虫,主要危害苜蓿(*Medicago sativa*)、蚕豆(*Vicia faba*)、豌豆(*Pisum sativum* L.)等豆科作物。作为全球性的农业有害生物,其在温带地区危害尤为严重<sup>[7]</sup>。它主要以豆科植物为食,通过刺吸植物汁液,引起植物叶片变黄、卷缩,导致植物生长不良、产量降低,严重时导致植物死亡,给农业生产带来巨大经济损失。

豌豆蚜是苜蓿生产中最具威胁的害虫之一,在我国各个地区均有分布<sup>[8]</sup>。据统计,豌豆蚜在苜蓿种植区每年造成的经济损失高达10%~30%,豌豆蚜的若虫和成虫群集在苜蓿的嫩茎、叶和幼芽等部位,刺吸韧皮部汁液,影响苜蓿的生长发育、开花结实,严重时可导致植株成片枯黄<sup>[9]</sup>。鉴于其生活周期复杂、生殖方式多样、发育历期短、世代重叠严重、极易适应环境等特点,使得传统防控手段面临诸多挑战<sup>[10]</sup>。此外,豌豆蚜可在刺吸的同时分泌蜜露,引起叶片发霉,影响牧草的品质,加之能够传播苜蓿花叶病毒,进一步加剧了实际危害程度,造成的间接损失甚至超越了直接损害本身<sup>[11-12]</sup>。

烟蚜茧蜂通过识别豌豆蚜的化学信号或其他线索定位寄主<sup>[13]</sup>,随后在其体内产卵寄生。这一寄生行为会对豌豆蚜的生理、行为和外部形态产生一系列影响<sup>[14]</sup>。当前,关于烟蚜茧蜂与豌豆蚜寄生关系的研究主要集中在寄主蚜虫的龄期及其大小对烟蚜茧蜂寄生选择策略以及后代适合度的影响<sup>[15]</sup>,同时探讨了温度和湿度与寄生成功率的关系,并对烟蚜茧蜂的生物学特性进行了广泛研究,但对寄生过程中二者在不同发育阶段的精细形态变化仍缺乏系统描述。

本研究旨在系统观察并记录烟蚜茧蜂寄生豌豆蚜后,二者不同发育阶段的形态特征,以期建立较为完整的形态发育图谱。鉴于蚜虫外部形态的变化能够直观地反映出寄生过程中二者之间的相互作用,以及蚜虫生理状态的改变。蚜茧蜂作为模式天敌昆虫,研究其不同阶段的形态发育特征有助于理解膜翅目昆虫的进化适应策略。不仅对于揭示膜翅目昆虫的演化适应策略具有重要意义,而且通过对比健康与被寄生蚜虫之间的形态差异,为深入探究寄生蜂操纵寄主发育路径提供了基础数据支撑。同时为理解寄生蜂-豌豆蚜之间的互作关系提供了形态学依据,也为利用寄生蜂进行豌豆蚜生物防治提供了理论参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试虫源与器材

实验所用僵蚜采自山西农业大学牧场中的苜蓿植株,将其收纳至透明塑料盒中,带回实验室孵化后长期饲养。所用蚜虫为实验室长期饲养的稳定豌豆蚜种群,饲养虫源植物为豌豆(*Pisum sativum* L.)。

养虫笼,镊子,体视显微镜,恒温培养箱,饲养容器(直径5 cm、高6 cm的透明塑料饲养盒,盒盖加装300目防虫纱网保证空气流通),昆虫针,解剖剪。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 寄生蜂准备

选取含有未孵化僵蚜及其所附着的寄主植物部分组织的样本,放入采集袋中,立即带回实验室进行后续处理。将上述样品放至顶部钻有小孔的塑料盒中,置于25℃的恒温培养箱饲养直至蚜茧蜂孵化,为满足蚜茧蜂生长期间的营养需求,在塑料盒顶部的小孔处塞入浸透蜂蜜水的纸巾。为防止种群密度过高引发种内竞争,每盒饲养成虫不超过20头<sup>[16]</sup>。通过连续多代饲养,建立稳定的实验种群,为后续研究提供遗传背景一致、生理状态相近的供试虫源,确保数据的准确性与可靠性。

#### 1.2.2 寄主准备

为获得同一龄期且尺寸相近的蚜虫,挑取数量充足的成蚜于新鲜的蚕豆植株上,任其产仔蚜,每日将成蚜移除,重复2~3 d得到同一龄期和大小较为一致的蚜虫。随后将产有仔蚜的植株放于恒温箱中继续培养,直至仔蚜发育至特定龄期。

#### 1.2.3 寄生试验

挑选15只2龄、3龄若蚜接入蚕豆苗,待其定殖后接入约20头已经交配的雌、雄蚜茧蜂。自观察到寄生行为1 h后,将蚜虫取出放于单独容器内,盒内放置新鲜豌豆苗茎、叶作为饲料,每24 h更换一次<sup>[17]</sup>,避免因饲料变质影响昆虫健康。每日9:00和19:00定时观察,重点监测不同时间点(24、48、72、96、120、144、168 h)豌豆蚜外部形态指标以及蚜茧蜂各发育阶段形态。每个处理设5个重复,对于未产生僵蚜的重复不纳入统计<sup>[18]</sup>。

#### 1.2.4 不同阶段蚜虫与蚜茧蜂形态的观察

分别在蚜茧蜂寄生后的24、48、72、96、120、144、168 h,对蚜茧蜂以及被寄生的蚜虫进行形态观察,以全面了解豌豆蚜和蚜茧蜂在不同寄生阶段的形态变化过程。

使用体视显微镜观察蚜虫的整体体型轮廓,测量蚜虫的体长、体宽等参数,记录其在寄生过程中的变化趋势,观察蚜虫体表颜色的改变,如体色的深浅、是否出现斑纹等,并进行详细描述和记录;触角和附肢形态:观察蚜虫触角的长度、形态特征,以及足的形态、长度、粗细等变化,分析这些变化与寄生阶段的关系。注意观察蚜虫体表是否出现分泌物、是否有畸形等特殊现象,探究这些现象产生的原因和对蚜虫生存的影响。之后通过解剖观察蚜茧蜂寄生后的不同阶段在蚜虫体内的形态变化,准确记录其卵期、幼虫期、蛹期、成虫期的形态。通过实验结果,来评判用蚜茧蜂作为生物防治手段的潜力,为农业害虫治理提供理论支持。

利用体视显微镜系统追踪寄生全程:测定体长体宽,观察体色深浅及斑纹出现,记录触角与足的长度、粗细,观察体表分泌物及位置;随后解剖样品,依次记录卵、幼虫、蛹、成虫各期蜂幼形态,综合上述指标评估蚜茧蜂的田间控蚜潜力。

## 2 结果与分析

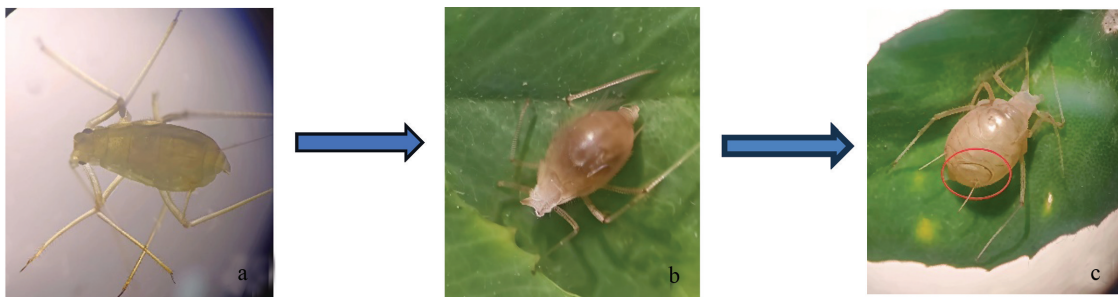
### 2.1 寄生后外部形态变化

#### 2.1.1 被寄生后蚜虫体型变化

在寄生初期(24~48 h),豌豆蚜外观并无明显变化。寄生蜂将卵注入豌豆蚜体内后,卵开始在蚜虫体内发育。在此期间,豌豆蚜仍能保持正常的取食和活动能力,其体型维持原有状态,呈纺锤形且体表光滑<sup>[19]</sup>。寄生 72~120 h,豌豆蚜的体型开始发生显著变化。此时,卵孵化出幼虫,幼虫不断吸食豌豆蚜体内的营养物质,导致豌豆蚜的生长发育受到抑制。同时,由于寄生蜂幼虫占据了一定空间,使豌豆蚜的身体无法正常生长和维持原有形态,体型臃肿膨胀<sup>[20]</sup>。寄生 144~168 h,寄生蜂幼虫发育成熟并即将化蛹,豌豆蚜会停止活动,身体逐渐僵化,形成僵蚜。此时的豌豆蚜体表较粗糙,在体式显微镜下可以观察到褶皱或凹陷。

#### 2.1.2 被寄生后蚜虫颜色变化

在寄生初期(24~48 h),由于体内寄生蜂的卵或幼虫较小,对豌豆蚜的生理机能影响尚不显著,因此其体色依旧保持黄绿色。此时的豌豆蚜仍能正常取食和活动,从外观角度难以将其与未被寄生的个体区分(图 1a)。寄生 72~120 h,寄生蜂幼虫大致发育至 4 龄阶段,食量剧增,豌豆蚜体内储存的营养物质被大量消耗。受此影响,豌豆蚜体内的色素合成与代谢过程受到干扰,具体表现为体色逐渐变浅,呈现出略显暗淡的黄绿色(图 1b)。这一现象可能是体内类胡萝卜素等色素含量的降低所致<sup>[21]</sup>。进入寄生后期(144~168 h),寄生蜂幼虫临近成熟,豌豆蚜的身体开始逐渐萎缩。此时观察到豌豆蚜近于白色,这可能是因为其色素合成能力大幅下降,体内共生菌的正常功能也可能受到影响,无法有效参与色素的合成或代谢,进而导致体色显著变浅<sup>[22]</sup>。最终,当豌豆蚜死亡并最终形成僵蚜时,其体色变为苍白色(图 1c)。



注: a、b、c 分别为寄生前、中、后期

图 1 豌豆蚜被寄生后体型及颜色变化过程图

#### 2.1.3 触角和附肢的形态变化

寄生 24~48 h 后,豌豆蚜触角仍然保持着正常形态和长度,能够感知周围环境。寄生 72~96 h,其触角的生长受到抑制,可能是由于寄生蜂幼虫不断消耗豌豆蚜体内的营养物质,导致豌豆蚜自身营养供应不足,触角生长速度变慢<sup>[23]</sup>。寄生 120~144 h,豌豆蚜触角开始萎缩,这时豌豆蚜体内的营养被大量消耗,身体各组织也开始退化。

寄生 24~48 h,豌豆蚜的附肢仍能保持正常形态和功能,足关节活动自如,跗节能够正常抓附物体表面。寄生 72~120 h,由于营养缺乏,豌豆蚜附肢的生长会受到影响,足较为细弱,同时,附肢颜色会逐渐变浅,失去光泽。到寄生后期(120~144 h),豌豆蚜附肢出现严重萎缩,甚至无法支撑身体,导致豌豆蚜行动困难,难以正常爬行或跳跃。附肢表面略粗糙,且出现褶皱,这可能是组织退化和细胞失水所致。

2.1.4 豌豆蚜体表的异常变化

正常情况下,豌豆蚜尾部可以分泌蜜露。在寄生蜂寄生初期,豌豆蚜可分泌少量蜜露,但随着寄生蜂幼虫的发育,豌豆蚜的生理功能受到影响,蜜露分泌会逐渐减少直至停止。到寄生后期,豌豆蚜身体僵化形成僵蚜,不再有蜜露分泌。

豌豆蚜被寄生后腹面也会出现一系列特殊变化。寄生初期能看到正常的腹管等结构,到了中期,随着寄生蜂幼虫的发育,豌豆蚜腹面被划破、织茧。同时,腹管变得扁平,这是由于其腹内结构受到挤压,导致腹管形态发生改变。在寄生后期,豌豆蚜腹面颜色逐渐变深,变为褐色或黑色。腹管进一步萎缩,变得短小且不明显。当外壳膨胀至最大时,幼虫开始吐丝将蚜虫壳粘附在植物上,织茧完毕后,静止不动,准备化蛹。

为准确记录寄生蜂寄生对豌豆蚜的影响,在寄生后的 24、72、120 和 168 h 对豌豆蚜进行详细测量与观察,结果详见表 1。

表 1 寄生蜂寄生过程中豌豆蚜外部形态指标观测数据表

观察时间点	体长/mm	体宽/mm	体色	触角长度/mm	足粗细	蜜露分泌情况	附管形态
寄生后 24 h	2.00±0.10	1.00±0.05	绿色,色泽鲜亮	0.80±0.05	粗细均匀,无明显变化	少量	圆柱状
寄生后 72 h	2.20±0.12	1.10±0.05	黄绿色,稍显暗淡	0.75±0.04	比寄生前稍细	少量	开始变扁平
寄生后 120 h	2.30±0.15	1.25±0.08	淡黄绿色,颜色明显变浅	0.70±0.05	明显变细,肌肉萎缩	极少	扁平明显
寄生后 168 h	1.80±0.10	0.90±0.05	接近白色,色泽暗淡	0.50±0.03	短小细弱,难以支撑身体	停止分泌	萎缩

2.1.5 蚜茧蜂寄生豌豆蚜过程图

烟蚜茧蜂寄生豌豆蚜时,其外部形态与内部生理历经显著变化。实验全程拍照记录并绘制循环图(图 2)。由图 2 可知,烟蚜茧蜂产卵于豌豆蚜体内初期无明显异常,蚜虫体表保持鲜绿;约 48 h 后卵孵为幼虫,蚜虫体型肿胀、体色转呈暗淡的黄绿色;约 48 h 后幼虫发育至 4 龄,取食活跃且迅猛,短时间内耗尽蚜虫体内养分,致其沦为空壳状僵蚜;随后幼虫以上颚划破豌豆蚜而出,形成圆孔,继而成蜂羽化完成寄生周期。

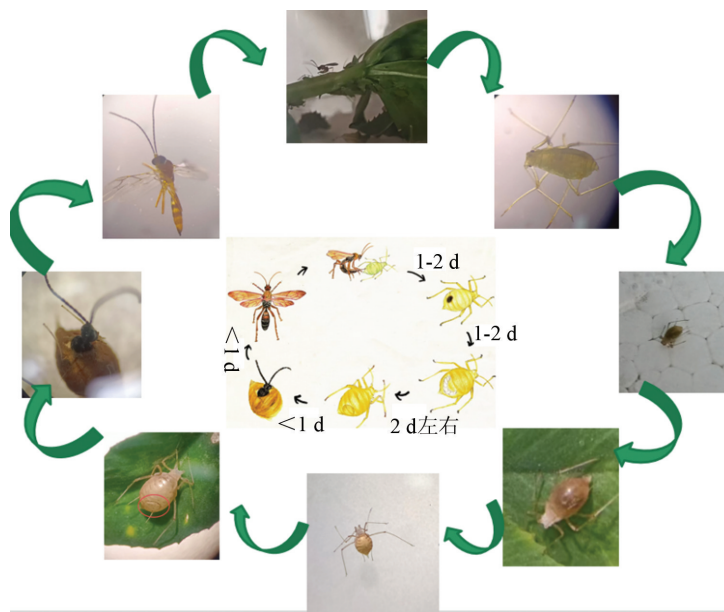


图 2 体式显微镜下观察到的寄生过程

## 2.2 寄生蜂不同发育阶段形态变化

### 2.2.1 蚜茧蜂卵期形态描述

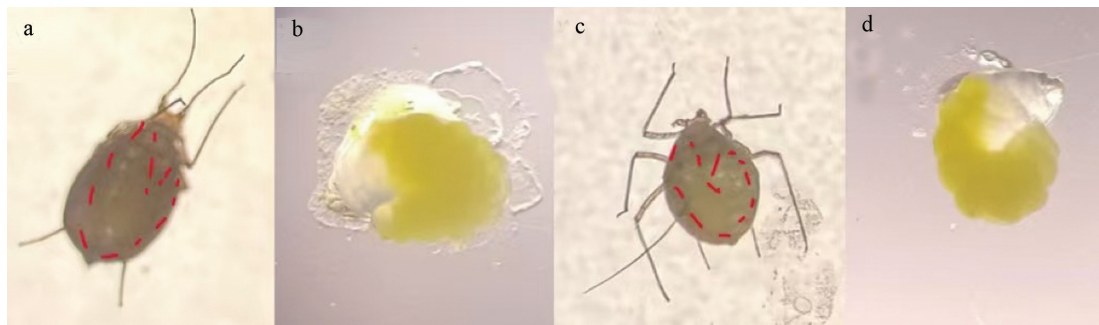
雌性蚜茧蜂用产卵器刺破豌豆蚜体壁，将卵产于豌豆蚜体内，此过程即是寄生的开始。卵期被寄生的豌豆蚜活动正常，无可见外部变化(图3)。经解剖观察到蚜茧蜂卵长度约0.1~0.2 mm，呈透明梭形。随着发育的进行，卵体逐渐膨大，内部结构开始分化。



图3 蚜茧蜂卵期寄主形态

### 2.2.2 幼虫期形态特征

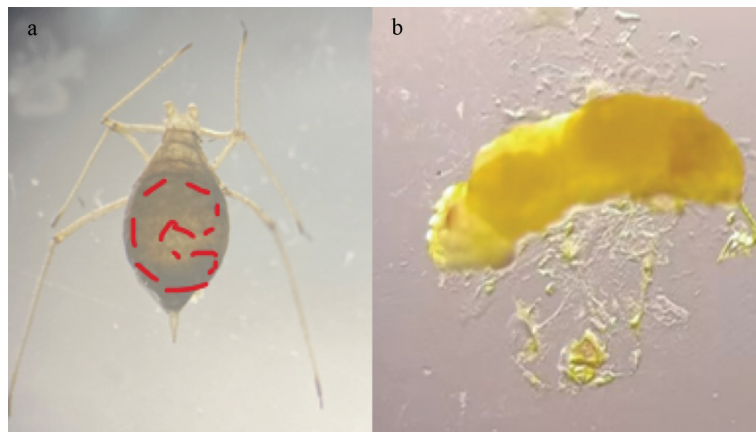
幼虫在发育进程中呈现出阶段性的形态学差异。自蚜茧蜂寄生后约48 h，便可观测到其幼虫形态，由此可推断蚜茧蜂由卵孵化成幼虫的时间窗口位于寄生后的24~48 h。被寄生48 h后，豌豆蚜体色由淡绿色变为浅棕色，停止取食，腹部膨大，变成僵蚜(图4)。早期幼虫(寄生后48~72 h)体色为黄白色，体节明显，平均体长1.0~1.5 mm，脂肪积累呈半透明(图4b, 图4d)。晚期幼虫(寄生后96~120 h)体型肥大，不活跃，平均体长 $1.5 \pm 0.2$  mm，体内脂肪积累明显。(图5b)。



a. 被蚜茧蜂寄生48 h的豌豆蚜；b. 寄生48 h后的蚜茧蜂幼虫；  
c. 被蚜茧蜂寄生72 h的豌豆蚜；d. 寄生72 h后的蚜茧蜂幼虫

注：虚线部分为蚜茧蜂在僵蚜中的轮廓，下同

图4 蚜茧蜂早期幼虫



a. 被蚜茧蜂寄生96 h的豌豆蚜；b. 寄生后96 h的蚜茧蜂幼虫

图5 蚜茧蜂晚期幼虫

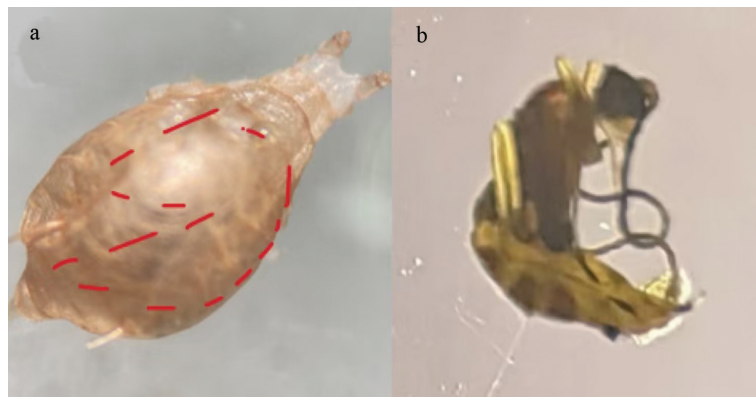
### 2.2.3 蛹期形态特征

预蛹期(寄生后 120~144 h)幼虫停止取食,体蜷缩变硬,初期蛹呈黄色,复眼和翅芽逐渐显现(图 6b)。末期蛹体色接近成虫,各附肢分化完成,即将羽化(图 7b)。该阶段的僵蚜内部器官完全降解,仅保留体壁以形成腔室,蛹体占据整个体腔(图 6a,图 7a)。



a. 被蚜茧蜂寄生 120 h 的豌豆蚜; b. 寄生 120 h 后的蚜茧蜂蛹

图 6 蚜茧蜂预蛹期



a. 被蚜茧蜂寄生 144 h 的豌豆蚜; b. 寄生 144 h 后的蚜茧蜂蛹

图 7 蚜茧蜂末期蛹

### 2.2.4 成虫形态特征

蛹发育成成蜂之后,成蜂会上颚在僵蚜体壁上咬出一个圆形的羽化孔,随后破茧而出。成蜂体长 1.8~2.5 mm。触角呈丝状,18 节。翅透明,有艳丽光泽。成虫口器为典型的咀嚼式,上颚发达。

本研究对蚜茧蜂自初始寄生直至羽化为成蜂的整个发育历程进行了系统性观测,并详细解析了各发育阶段的代表性形态特征。在卵期(0~24 h),虫卵呈现半透明梭形外观,长 0.1~0.2 mm,主要悬浮于蚜虫的血淋巴中;进入幼虫期(24~120 h),个体呈蠕虫状且体型肥大,体内脂肪累积明显,口部钩状结构发达,便于在蚜虫体内取食;蛹期阶段(120~168 h),复眼和翅芽逐渐显现,体色逐渐接近成虫色;至成



图 8 蚜茧蜂成蜂

虫期(168 h 及以上),表现出鲜明的雌雄异形特征,触角雌雄二型性明显,触角 18 节,翅脉清晰(表 2)。

表 2 蚜茧蜂不同发育阶段形态观测数据表

发育阶段	寄生时长	主要特征
卵	0~24 h	半透明梭形,长度为 0.1~0.2 mm,位于蚜虫血淋巴中
幼虫	24~120 h	体长 1.0~2.0 mm,体色为黄白色,体肥大,体节明显,脂肪积累呈半透明不活跃,口钩发达,取食蚜虫体内器官。
蛹	120~168 h	体长 2.2 mm 左右,初期蛹呈黄色,复眼和翅芽逐渐显现;末期蛹体色接近成虫,各附肢分化完成,即将羽化
成虫	168 h 以上	体长 2.5 mm 左右,头部和胸部多为深褐色,咀嚼式口器,丝状触角,18 节,翅透明,有艳丽光泽。

### 3 讨论与结论

本实验自山西农业大学周边苜蓿种植区域采集僵蚜样本,带回实验室长期饲养,成功培育出遗传稳定且数量充足的实验种群。通过持续、系统的动态观察与分析,进一步揭示了寄生蜂寄生豌豆蚜对后者外部形态的影响,蚜茧蜂不同发育阶段的形态指标也可以作为评估蚜茧蜂种群质量的参考标准,为进一步理解寄生蜂与豌豆蚜的互作行为提供参考。

试验结果表明,在蚜茧蜂寄生豌豆蚜的过程中,外部形态与内部生理均出现一系列变化。在此过程中,外部形态变化呈现阶段性特征:初期隐藏内部生理变化(可能涉及蚜虫体内的免疫反应),中期以体型膨胀和体色褪色为主,至后期,出现组织萎缩、附肢结构异常,最终形成僵蚜。这些变化直观反映了寄生蜂与豌豆蚜的互作关系——寄生蜂通过消耗寄主营养完成发育,而豌豆蚜因生理防御和营养流失导致形态退化(体色变浅可能与类胡萝卜素等色素合成受阻有关),为利用寄生蜂开展生物防治提供了关键的形态学证据。此外,蚜茧蜂在不同发育阶段也表现出明显的形态适应性,这些特征与其寄生生活史策略高度契合。同时,本研究还获得了饲养蚜茧蜂的相关经验,例如,日常管理中需注意适当遮荫以避免高温对蚜茧蜂活性产生不利影响<sup>[24-25]</sup>。这些发现不仅丰富了蚜茧蜂的基础生物学知识,也为提高其生物防治效率提供了理论依据。

然而,本实验尚存在一定局限性。实验室条件难以完全模拟自然环境的复杂性,微小的环境波动(如温度、光照强度的变化)可能干扰豌豆蚜的正常生长发育及寄生进程,从而引入额外的实验误差。目前的研究主要集中于宏观形态指标的观测,对于微观结构变化以及内部生理机制如何影响形态演变尚未深入探究。未来的研究可深入考察不同温湿度、光照周期等因素对寄生体系的影响;结合分子生物学手段(如转录组测序分析),解析豌豆蚜体色消退、附肢退化的具体分子调控路径;并通过比较不同寄生蜂毒液蛋白组分差异,探讨体外寄生向体内寄生转变的演化机制<sup>[26]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 蒙保安,赵正雄,李艺棋,等.不同温度、烟蚜茧蜂寄生密度对僵蚜羽化率、寄生率和重寄生的影响[J].植物医生,2021(4):51-55.
- [2] 许金波,付正波,杨祚斌,等.烟蚜茧蜂的饲养及防治油菜蚜虫应用技术[J].云南农业科技,2025(1):22-24.
- [3] 陈家骅,官宝斌,张玉珍.烟蚜与烟蚜茧蜂相互关系的研究[J].中国烟草学报,1996(1):8-10.
- [4] 张巧玲,曹锡芝,杨丽霞,等.烟蚜茧蜂对玉米蚜的防治效果[J].云南农业,2022(7):66-68.

- [5] 覃韧,李戎,潘应拿,等. 烟蚜茧蜂对草莓蚜虫的控制效果[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2020, 45(10):49-54.
- [6] 赵翠英,马秀明,付德俊,等. 蚜茧蜂在绿色防控中的应用探索 [J]. 农业科技通讯, 2019(3): 152-153.
- [7] 张育霞,史历,袁月,等. 温度对豌豆蚜体型、生长发育及繁殖的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2024, 59(2): 165-170.
- [8] 张航,刘艳君,刘耀猛,等. 不同施钾处理苜蓿对豌豆蚜生长发育和繁殖的影响 [J]. 草地学报, 2025, 33(8): 2467-2473.
- [9] 张新瑞,刘长仲,严林,等. 苜蓿田主要节肢动物种群数量研究 [J]. 草地学报, 2007, 15(6): 556-560.
- [10] 徐林波,刘爱萍,王慧,等. 龟纹瓢虫对苜蓿蚜的捕食效应(简报) [J]. 草地学报, 2007, 15(3): 296-298.
- [11] 赵怀志,杨炆,张嘉乐,等. 豌豆蚜虫龄期特征及鉴别 [J]. 应用昆虫学报, 2021, 58(3): 747-754.
- [12] 张廷伟,黄纯倩,杜军利,等. 阿尔蚜茧蜂对不同龄期豌豆蚜的寄生及后代适合度研究 [J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(7): 914-918.
- [13] 苏建亚,夏基康. 蚜虫的寄主选择与取食行为 [J]. 南京农业大学学报, 1987, 10(2): 42-47.
- [14] 康志伟. 烟蚜茧蜂与豌豆蚜互作的行为与分子机制研究 [D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2019.
- [15] MARTIN J M. 寄主植物对豌豆蚜生长、生命表参数及对病原菌防御的影响 [D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2021.
- [16] 石永秀,上官超智,王婷婷,等. 黑豆蚜与豌豆蚜的种间竞争及密度效应 [J]. 应用昆虫学报, 2022, 59(4): 862-873.
- [17] 赵怀志,杨炆,张嘉乐,等. 豌豆蚜虫龄期特征及鉴别 [J]. 应用昆虫学报, 2021, 58(3): 747-754.
- [18] 董昆乐,苗圃,李丽华,等. 洛阳市烟蚜茧蜂防治蚜虫技术的推广应用 [J]. 安徽农业科学, 2016, 44(33): 125-126.
- [19] 秦启联,李馨,丁翠,等. 粘虫受中红侧沟茧蜂寄生后的生理变化 [J]. 应用与环境生物学报, 2000(6): 554-559.
- [20] CHOUGULE N P, BONNING B C. Toxins for Transgenic Resistance to Hemipteran Pests [J]. Toxins, 2012, 4(6): 405-429.
- [21] LI G P, FENG H Q, CHEN P Y, et al. Effects of Transgenic Bt Cotton on the Population Density, Oviposition Behavior, Development, and Reproduction of a Nontarget Pest, *Adelphocoris Suturalis* (Hemiptera: Miridae) [J]. Environmental Entomology, 2010, 39(4): 1378-1387.
- [22] 李月明,张永栋,宫厚艳,等. 共生菌 *Serratia symbiotica* 对豌豆蚜发育和繁殖的影响 [J]. 昆虫学报, 2023, 66(10): 1311-1318.
- [23] DOUGLAS A E. Multiorganismal Insects: Diversity and Function of Resident Microorganisms [J]. Annual Review of Entomology, 2015, 60: 17-34.
- [24] 李峰,鲁晋秀,谢咸升,等. 山西省蚜茧蜂资源、种群动态及保护利用研究 [J]. 陕西农业科学, 2011, 57(3): 47-49.
- [25] 舒建超,何应琴,赵如娜,等. 烟蚜茧蜂规模扩繁冬寄主筛选研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(7): 66-72.
- [26] YAN Z C, FANG Q, WANG L, et al. Insights into the Venom Composition and Evolution of an Endoparasitoid Wasp by Combining Proteomic and Transcriptomic Analyses [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 19604.