

## 朝鲜毛球蚧雄虫预蛹期和蛹期生殖系统发育研究

张艳峰<sup>1\*</sup>, 王旭<sup>2</sup>

(1. 山西大学 生命科学学院, 山西 太原 030031;  
2. 中国科学院 脑科学与智能技术卓越创新中心, 上海 200031)

**摘要:** 为了研究朝鲜毛球蚧 *Didesmococcus koreanus* Borchsenius “预蛹”和“蛹”生殖系统的发育, 通过体视显微镜 (Olympus) 观察其2龄若虫至雄成虫形态特征的变化规律。结果表明: 朝鲜毛球蚧预蛹期为2 d~4 d, 蛹期4 d~6 d; 雄性生殖系统主要由一对精巢(T)、一对输精管(vd)、射精囊(es)、射精管(ej)以及一对性附腺(me)组成。在不同发育阶段, 朝鲜毛球蚧雄性生殖系统的形态结构发生一系列的变化。2龄若虫末期精巢的顶端膨大, 充满白色内容物。预蛹期精巢基部变粗, 内容物呈现明暗条纹, 输精管和射精管的长度有所增加。蛹期精巢内容物呈凝胶状, 明暗条纹消失。雄成虫精巢形态变得扭曲, 呈现出端部尖细, 基部膨大的形态特点, 射精囊明显膨大, 充满白色凝胶样精子。

**关键词:** 朝鲜毛球蚧; 精巢; 输精管; 射精囊; 形态特征

中图分类号: Q964 文献标志码: A 文章编号: 0253-2395(2025)03-0647-06

## Reproductive System Development of Male Prepupal Instar and Pupal Instar of *Didesmococcus koreanus* Borchsenius

ZHANG Yanfeng<sup>1\*</sup>, WANG Xu<sup>2</sup>

(1. School of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030031, China;  
2. Centre of Excellence for Innovation in Brain Science and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200031, China)

**Abstract:** In order to study the development of the reproductive system of the "pre-pupa" and "pupa" of *Didesmococcus koreanus* Borchsenius, the morphological characteristics during the process from the 2nd instar nymphs to male adults were observed under the microscope (Olympus). The results showed that: the prepupal duration is 2-4 days, and the pupal duration is 4-6 days; The male reproductive system is composed of a pair of testis (T), a pair of vas deferens (vd), ejaculatory sac (es), ejaculatory duct (ej), and a pair of mesadenia (me). At different stages of development, the morphological structure of the male reproductive system of the *D. koreanus* was observed a series of changes. At the end of the 2nd instar nymphs, the apex of the T is enlarged and full of white content. In prepupal stage, the base of the T became thicker, the contents showed light and dark stripes, and the length of the vd and ej increased. The stripes in the T of the pupal stage disappear and the contents are gel-like. The T of the male adult became distorted, with a pointed end and enlarged base. The es of the male adult was enlarged and filled with white gelatinous spermatozoa.

**Key words:** *Didesmococcus koreanus*; the testis; vas deferens; ejaculatory sac; morphological characteristics

### 0 引言

蚧虫 (scale insects) 属于昆虫纲 Insecta, 半翅

目 Hemiptera, 蚧总科 Coccoidea, 目前记录有 8 000 余种, 绝大多数种类都是重要的农、林、花卉和果树害虫<sup>[1]</sup>。蚧虫个体小, 繁殖能力非常

收稿日期: 2023-10-08; 接受日期: 2024-01-30

基金项目: 国家自然科学基金 (31200495)

\* 通讯作者: 张艳峰 (1980—), 女, 山西平遥人, 博士, 副教授, 研究方向为害虫防治。E-mail: zyf@sxu.edu.cn.

引文格式: 张艳峰, 王旭. 朝鲜毛球蚧雄虫预蛹期和蛹期生殖系统发育研究 [J]. 山西大学学报 (自然科学版), 2025, 48 (3): 647-652. DOI: 10.13451/j.sxu.ns.2024041.

强,在适宜的环境条件下易于泛滥成灾。蚧虫的雄虫为过渐变态发育(hyperpaurometamorphosis),比雌虫多了两个静止不动的,类似于完全变态昆虫(Holometabola)蛹期的阶段,被分别称为“预蛹期”(prepupal instar)和“蛹期”(pupal instar)<sup>[2]</sup>。在外翅类昆虫中,除了蚧虫雄虫外,只有粉虱(Aleyrodoidea)和蓟马(Thysanoptera)有类似于内翅类蛹期的发育阶段<sup>[3]</sup>。蚧虫雄虫特殊的发育特点决定了其身体结构在预蛹期和蛹期发生很大的变化,尤其是生殖系统作为其完成生命意义的重要系统,在这一时期经历一个快速发育的过程。然而目前关于蚧虫雄虫生殖系统方面的研究还明显不足<sup>[4-6]</sup>。

朝鲜毛球蚧 *Didesmococcus koreanus* Borchsenius 属于蚧科中的球坚蚧亚科 Eulecaniinae, 主要寄主包括桃树 (*Amygdalus spp.* (Rosaceae)) 和杏树 (*Armeniaca spp.* (Rosaceae)) 等重要的经济果树,是一类在我国北方地区广泛分布的重要果树害虫<sup>[7]</sup>。朝鲜毛球蚧一年发生一代,以2龄若虫在枝干上越冬,次年3月中旬开始恢复活动,并开始发生雌雄分化。雄虫于4月上旬开始分泌蜡质,结薄茧,蜕皮进入预蛹期,预蛹之后雄虫进入蛹期,4月中旬雄虫羽化,只能存活很短的时间,与雌成虫交尾后即死去<sup>[7]</sup>。尽管目前对朝鲜毛球蚧预蛹期和蛹期的形态和生活史都有一定的描述,然而对其发育历期以及预蛹和蛹期精巢的形态、结构和发育特征还未见报道。因此,本文通过观察其雄性生殖系统的形态特征及其变化规律,为蚧虫的分类、进化、系统发育及科学防控提供了理论基础<sup>[8]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 昆虫材料

朝鲜毛球蚧 (*Didesmococcus koreanus* Borchsenius) 的雄性二龄若虫和预蛹采自山西省太原市,山西大学校园内,寄主为桃树 (*Amygdalus persica* L.), 采集时间为3月下旬至4月上旬。剪取带有朝鲜毛球蚧的桃树枝条,带回实验室。用解剖针将朝鲜毛球蚧轻轻拨下,在体视显微镜(Olympus)下,挑取雄性二龄末期的若虫和预蛹,培养观察。

### 1.2 朝鲜毛球蚧预蛹和蛹的历期观察

在体视显微镜(Olympus)下,挑取新蜕皮的朝鲜毛球蚧的预蛹和蛹,置于扎了孔的 eppendorf 管中,放入恒温培养箱中,20℃,每隔12h,观察预蛹和蛹的羽化情况,记录朝鲜毛球蚧的预蛹和蛹的历期。

### 1.3 朝鲜毛球蚧精巢的解剖观察

分别挑选朝鲜毛球蚧雄性二龄末期若虫、预蛹第0天—第2天、蛹期第0天—第4天以及雄成虫作为观察对象,在体视显微镜(Olympus)下,将相应虫体的雄性生殖系统解剖出来,观察其外部形态并用数码相机(Olympus C-5050 ZOOM)拍照记录。

## 2 结果

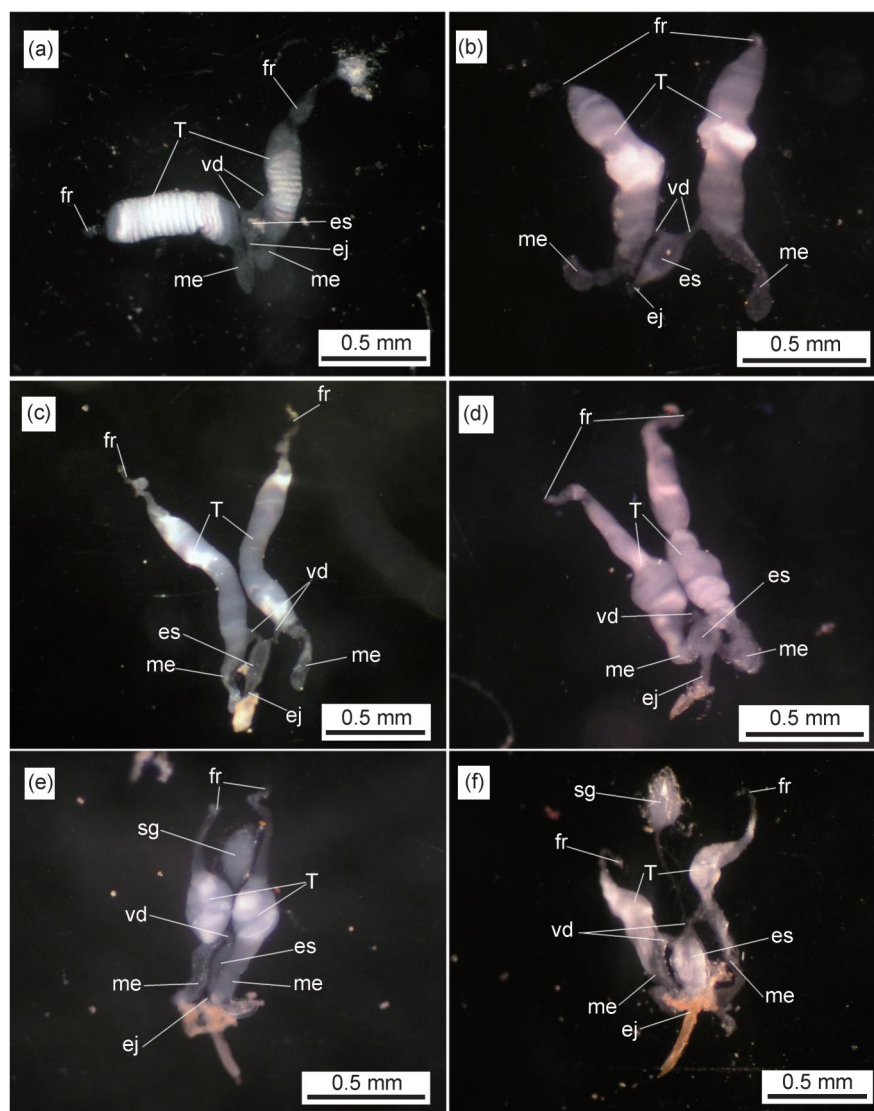
### 2.1 历期

在实验室条件下(正常光照,20℃)观察朝鲜毛球蚧预蛹和蛹期的发育历期,除去死亡个体,共观察了朝鲜毛球蚧新蜕皮的预蛹65只,蛹53只。朝鲜毛球蚧在实验室条件下预蛹的发育历期在2d~4d之间,蛹的发育历期在4d~6d之间。其中76.9%的预蛹蜕皮进入蛹期高峰在48h~60h;而蛹主要在96h~120h之间完成羽化,占观察总数的69.8%。

### 2.2 朝鲜毛球蚧雄性生殖系统

通过对朝鲜毛球蚧二龄末期雄若虫、预蛹第0天—第2天、蛹第0天—第4天以及雄成虫的生殖系统进行解剖观察,可以发现朝鲜毛球蚧雄性生殖系统主要由一对精巢(T)、一对输精管(vd)、射精囊(es)、射精管(ej),以及一对性附腺(me)组成。其中精巢位于虫体胸腹部的腹面,顶端通过系带(fr)连接到虫体胸部体壁上,输精管位于精巢的基部,两侧的输精管汇集于射精囊处,射精囊基部与射精管相连。性附腺连接于精巢与输精管连接处下方,形成一个盲端(图1)。比较从二龄末期雄若虫至雄成虫不同发育阶段的生殖系统的形态特征,可以发现其发生了明显的变化。

二龄末期雄若虫的一对精巢的顶端明显膨大,其间充满白色物质。膨大的顶端下方呈细长的管状,端部有白色物质分布,而基部则没有白色物质。两个精巢下方各可以观察到一个



注:es:射精囊;ej:射精管;fr:系带;me:附性腺;sp:精子束;T:精巢;vd:输精管(下同)。

Note: es: ejaculatory sac; ej: ejaculatory duct; fr: frenulum; me: mesadenia; sp: sperm bundle; T: testis; vd: vas deferens.

图1 朝鲜毛球蚧蛹的生殖系统图片

(a)-(f):依次为蛹第0天-第4天及新羽化的成虫的雄性生殖系统。

Fig. 1 The photographs of pupal reproductive system of *D. koreanus*

(a)-(f): The male reproductive systems of pupae on days 0-4 and newly emerged adults, respectively.

性附腺与精巢相连[图2(a)]。

预蛹第0天,精巢呈端部较膨大的棒状,与二龄若虫精巢相比,精巢基部明显变粗,精巢内充满白色物质,输精管和射精管均较短,射精囊较小[图2(b)]。预蛹第1天,精巢形态与预蛹第0天类似,但在精巢中的白色物质隐约呈现出明暗相间的条纹[图2(c)]。预蛹第2天,精巢呈管状,不同部位的粗细接近,精巢内的白色物质呈现出非常明显的明暗条纹,输精管和射精管的长度有所增加[图2(d)]。

蛹期第0天,其生殖系统的形态与预蛹第2天相比,没有发生明显的变化,精巢中的物质同样呈现出明暗相间的条纹[图1(a)]。对蛹期第0天的精巢进行压片观察,同样可以观察到明暗相间的条带[图2(e)],放大观察,可以发现这些明暗相间的条带是由于精巢内部的精子束呈有规律性的波纹状排列造成的[图2(f)]。蛹期第1天,精巢中的明暗条纹消失,精巢不再呈管状,不同部位的粗细出现差异化,精巢中段略膨大,两端变细,精巢内的白色物

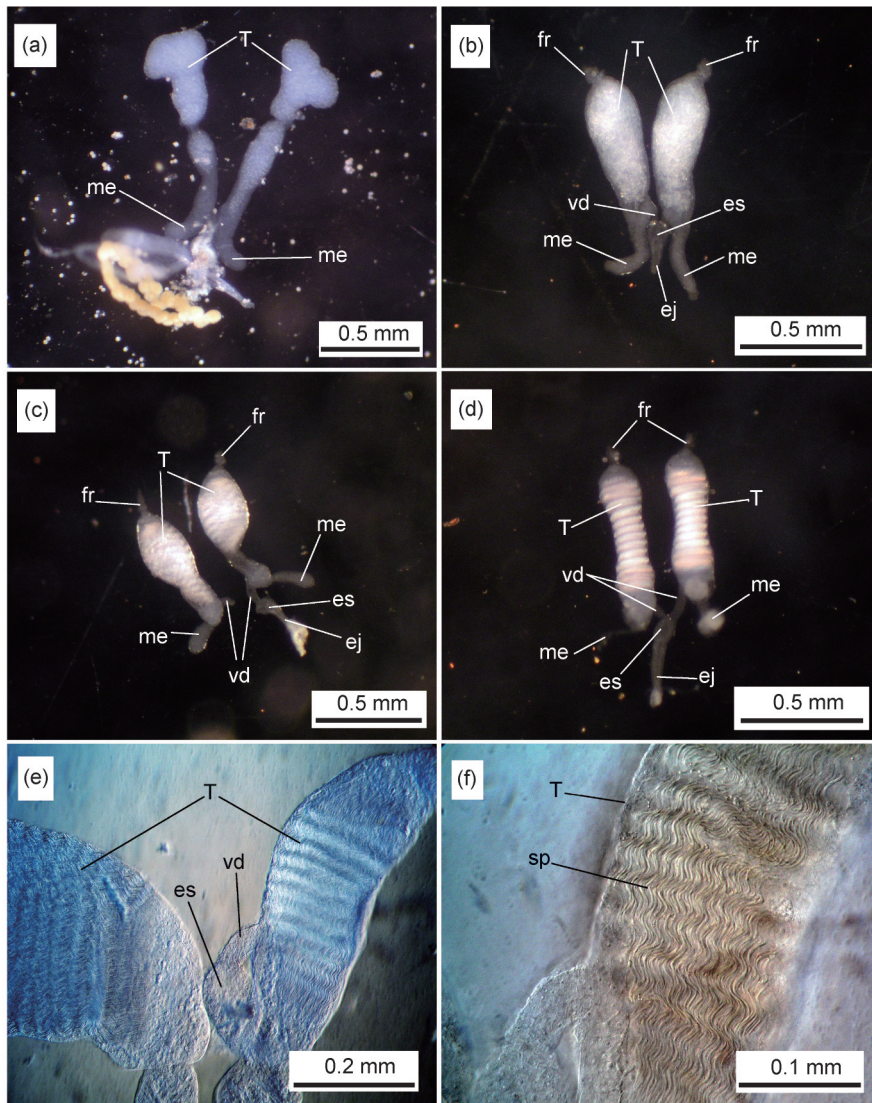


图2 朝鲜毛球蚧预蛹生殖系统图片

(a)–(d): 依次为2龄末期、预蛹第0天、预蛹第1天、预蛹第2天的雄性生殖系统图片。(e)雄蛹第0天光学压片,显示其精巢(T)中明暗排列的横纹。(f)图片(e)放大,显示精巢中的明暗排列的横纹是由精子束(sp)呈规则的波浪形排列造成的。

Fig. 2 The photographs of prepupal reproductive system of *D. koreanus*

(a)–(d): The male reproductive systems at the end of the 2nd instar nymphs, and on day 0, day 1, and day 2 of the prepupal stage, respectively. (e): The contents of testis (T) showed light and dark transverse stripes on day 0 of the pupal stage. (f): An enlargement of image (e), showed that the light and dark transverse stripes in the testis are caused by the regular wavy arrangement of sperm bundles (sp).

质在精巢中部更为集中,呈凝胶状,输精管和射精管的长度继续增加,射精囊明显膨大[图1(b)]。蛹期第2天,精巢中的明暗条纹消失得更为彻底,精巢变细拉长,其他结构较蛹期第1天无明显差异[图1(c)]。蛹期第3天,精巢的形态变得扭曲,不规则,端部较为尖细,基部接近输精管位置明显变粗,精巢内容物同样呈凝胶状[图1(d)]。蛹期第4天,精巢形状扭曲,顶部更细基部膨大更加明显,膨大处充满了白色凝胶样物质,同时还可以观察到咽下神经节(sg)

中有一根神经延伸至射精囊位置[图1(e)]。

新羽化的雄成虫,精巢形态更加扭曲,同样呈现出端部尖细,基部膨大的形态特点,射精囊明显膨大,其中充满了白色凝胶样物质,同样可以观察到由咽下神经节延伸出来的一个神经连接于射精囊位置[图1(f)]。

### 3 讨论

朝鲜毛球蚧是我国北方地区重要的果树害虫。与其他蚧虫一样,朝鲜毛球蚧有着惊人的

繁殖能力,每只雌成虫平均可以产卵400余枚,最多甚至可以达到1000枚以上<sup>[7]</sup>。在朝鲜毛球蚧繁殖过程中,雄成虫同样发挥着不可或缺的作用。与雌成虫相比,蚧虫的雄成虫可以飞行,有相对较强活动能力。朝鲜毛球蚧的雄成虫发育经历了不食不动的预蛹期和蛹期,在这段时间内,各器官包括生殖系统都经历了快速发育,以适应其在成虫期完全不同的行为特点。通过对朝鲜毛球蚧雄虫在预蛹和蛹期的发育历期的研究,为确定采样时间提供依据。

昆虫复杂而多变的生殖系统,是保证其强大生殖能力的结构基础<sup>[9]</sup>。不同的昆虫类群,例如同翅类昆虫不同总科之间,雄性生殖系统的形态和结构往往存在明显的差异<sup>[10]</sup>,这些不同往往作为分类和系统发育学研究的依据<sup>[10-11]</sup>。精巢是精子发生的重要场所,为精细胞发育提供营养和保护<sup>[12]</sup>。在同翅类昆虫中,精巢的形态可以分成3种不同的类型:球状、片层状和管状,其中蚧总科昆虫的精巢为管状<sup>[10]</sup>。精巢中分布着数量不等的精巢管,每个精巢区内都有大量的生精囊<sup>[9]</sup>。性附腺具有分泌功能,其分泌物包括蛋白质、氨基酸、糖类和脂肪等成分,是精包的重要组成部分,这些成分可以为精子提供能量并提高其活性<sup>[9]</sup>。尽管昆虫雄性生殖系统得到了较为广泛的研究<sup>[13-17]</sup>,然而蚧虫作为一种繁殖能力非常强大的昆虫,其雄性生殖系统的研究较少<sup>[4-5]</sup>。田润刚等(2006)曾经从分类角度出发,比较了包括蚧总科昆虫在内的同翅类昆虫的雄性生殖系统及精子发生的特点<sup>[10]</sup>。Pinto等(2013)还曾经对粉蚧科3个属的雄成虫的生殖系统中精子束的形态进行了比较研究<sup>[17]</sup>。目前关于蚧科昆虫雄虫精巢仍缺乏系统性的研究,仅有对重要经济昆虫白蜡虫的相关研究,其雄虫生殖系统较为简单,主要由一对细长,呈囊状的精巢构成,精巢基部与输精管相通,此外雄虫还有一对性附腺<sup>[4]</sup>。

通过对朝鲜毛球蚧二龄雄若虫、预蛹、蛹和雄成虫精巢的解剖观察,可以发现朝鲜毛球蚧的雄性生殖系统主要由一对精巢、一对输精管、射精囊、射精管,以及一对性附腺组成,其形态和排布特征与吴次彬和高斌(1990)报道的白蜡虫的雄性生殖系统相似<sup>[4]</sup>。在上述报道

中,白蜡虫的雄性生殖系统被认为分布在消化道的背侧面。然而在我们的观察中,朝鲜毛球蚧的雄性生殖系统是分布在消化道的腹面,这与白蜡虫有明显的不同。另外,在田润刚等(2006)<sup>[10]</sup>对同翅类昆虫雄性生殖系统的研究中,所报道的盾蚧科(Diaspididae)昆虫*Pseudaulacaspis pentagona*的生殖系统的组成和形态与朝鲜毛球蚧的也非常相似,然而在*P. pentagona*的精巢基部并没有性附腺与之相连。

比较朝鲜毛球蚧的生殖系统从二龄期到雄成虫的变化特点,可以发现在这段时间内精巢形态发生的变化最为明显。二龄末期,朝鲜毛球蚧精巢的端部膨大,基部较细长,在预蛹期,精巢基部逐渐变粗,这可能与精子的成熟与累积有关。在预蛹末期和蛹初期,朝鲜毛球蚧的精巢端部和基部粗细相近,呈管状,在精巢中出现了非常明显的明暗条纹,通过压片观察,可以看出这些明暗相间的条纹是由于精子束呈有规律的波纹状排列造成的。这种明暗相间的条纹在蛹期第1天之后消失,精巢中的内容物呈半透明的凝胶状,这可能是由于精子束的进一步累积,使其排列更加紧密,波纹状的排列消失造成的。在蛹期第2天之后,朝鲜毛球蚧精巢形态逐渐变得扭曲,基部较膨大,而端部变得较为纤细,这可能与精子束在精巢的基部累积有关。朝鲜毛球蚧雄成虫的生殖系统与蛹末期结构和形态类似,但其最大的特点在于:射精囊明显膨大[图1(f)],在输精管、射精囊和射精管中都分布着大量精子。这些特征在蛹期切片中是没有被观察到的。说明新羽化的雄成虫已经为交配做好的准备。

通过上述研究,我们掌握了朝鲜毛球蚧生殖系统的基本形态和结构特征,了解了其从二龄末期,经过预蛹和蛹,发育到雄成虫的过程中的变化特点。这些结果可以为之后蚧科昆虫的生理学研究提供基础,为分类、进化和系统发育学研究提供理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 谢映平,薛皎亮,郑乐怡. 蚧科昆虫的蜡分泌物超微结构和化学成分[M]. 北京:中国农业出版社,2006.  
XIE Y P, XUE J L, ZHENG L Y. Wax Secretions of Soft Scale Insects Their Ultrastructure & Chemical Composition

- [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [2] 蒋华, 黄佳聪, 杨晏平, 等. 我国余甘子新害虫锡兰玻壳蚧的形态及生物学特性[J]. 昆虫学报, 2022, **65**(7): 895-904. DOI: 10.16380/j.kcxb.2022.07.011.
- JIANG H, HUANG J C, YANG Y P, *et al.* Morphological and Biological Characteristics of *Drepanococcus chiton* (Hemiptera: Coccidae), a New Pest of *Phyllanthus emblica* in China[J]. *Acta Entomol Sin*, 2022, **65**(7): 895-904. DOI: 10.16380/j.kcxb.2022.07.011.
- [3] GULLAN P J, KOSZTARAB M. Adaptations in Scale Insects[J]. *Annu Rev Entomol*, 1997, **42**: 23-50. DOI: 10.1146/annurev.ento.42.1.23.
- [4] 吴次彬, 高斌. 白蜡虫雄性生殖系统的构造及其发育的初步研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 1990, **27**(4): 495-497. DOI: 10.1007/BF02919155.
- WU C B, GAO B. Studies on the Structure and Development of Male Reproductive System in the White Wax Scale, *Ericerus pela*[J]. *J Sichuan Univ Nat Sci Ed*, 1990, **27**(4): 495-497. DOI: 10.1007/BF02919155.
- [5] 王淑芳. 紫胶虫精子形成的研究[J]. 昆虫学报, 1976, **19**(2): 194-198. DOI: 10.16380/j.kcxb.1976.02.009.
- Wang S F. Study on Sperm Formation in Lac Worm[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1976, **19**(2): 194-198. DOI: 10.16380/j.kcxb.1976.02.009.
- [6] 李万万, 王武萍, 何学高, 等. 漆树新害虫天麻白粉蚧雄虫的发育过程和形态描述[J]. 西北林学院学报, 2023, **38**(6): 138-144. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7461.2023.06.19.
- LI W W, WANG W P, HE X G, *et al.* Individual Development and External Morphology of Male *Paraputo gastrodiae*(Hemiptera: *Coccoidea*: *Pseudococcidae*)[J]. *J Northwest For Univ*, 2023, **38**(6): 138-144. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7461.2023.06.19.
- [7] 谢映平. 山西林果蚧虫[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998.
- XIE Y P. The Scale Insects of the Forest and Fruit Trees in Shanxi of China[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1998.
- [8] SAMPIERI B R, LABRUNA M B, BUENO O C, *et al.* Dynamics of Cell and Tissue Genesis in the Male Reproductive System of Ticks (Acari: Ixodidae) *Amblyomma cajennense* (Fabricius, 1787) and *Amblyomma aureolatum* (Pallas, 1772): a Comparative Analysis[J]. *Parasitol Res*, 2014, **113**(4): 1511-1519. DOI: 10.1007/s00436-014-3795-y.
- [9] 王荫长. 昆虫生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- WANG Y C. Insect Physiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004.
- [10] 田润刚, 袁锋, 张雅林. 同翅类昆虫的雄性生殖系统及精子发生(昆虫纲: 半翅目)[J]. 昆虫分类学报, 2006, **28**(4): 241-253. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7482.2006.04.001.
- TIAN R G, YUAN F, ZHANG Y L. Male Reproductive System and Spermatogenesis in Homoptera (Insecta: Hemiptera)[J]. *Journal of Insect Taxonomy*, 2006, **28**(4): 241-253. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7482.2006.04.001.
- [11] 张晓红, 张虎芳. 蝽科昆虫精巢形态及属种间亲缘关系[J]. 动物分类学报, 2012, **37**(4): 712-717.
- ZHANG X H, ZHANG H F. Morphology of Testis and the Implied Genetic Relationship among the Observed Genera and Species in Pentatomidae (Hemiptera, Pentatomidae)[J]. *Acta Zootaxonomica Sin*, 2012, **37**(4): 712-717.
- [12] 吕琪卉. 蚊蝎蛉科与蝎蛉科雄性生殖系统比较形态学和超微结构研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2013.
- Lu Q H. Comparative Morphology and Ultrastructure of Male Reproductive Systems of Mosquito Scorpionflies and Scorpions[D]. Xi'an: Northwest A&F University, 2013.
- [13] DALLAI R, MERCATI D, GOTTARDO M, *et al.* The Male and Female Reproductive Systems of *Zorotypus hubbardi* Caudell, 1918 (*Zoraptera*) [J]. *Arthropod Struct Dev*, 2012, **41**(4): 337-359. DOI: 10.1016/j.asd.2012.01.003.
- [14] 吴畏, 赵云龙. 蟋蟀雄性生殖系统的结构和精子发生[J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2002, **31**(2): 74-78. DOI: 10.3969/j.issn.1000-5137.2002.02.014.
- WU W, ZHAO Y L. The Structure of the Male Reproductive System and the Genesis of the Generative Cells in Scapsipedes *Micado Saussure*[J]. *J Shanghai Norm Univ Nat Sci*, 2002, **31**(2): 74-78. DOI: 10.3969/j.issn.1000-5137.2002.02.014.
- [15] 汤军芝, 刘玉东, 刘苗, 等. 黄粉虫雄性生殖系统研究[J]. 安徽农业科学, 2010, **38**(6): 2886-2887. DOI: 10.13989/j.cnki.0517-6611.2010.06.150.
- TANG J Z, LIU Y D, LIU M, *et al.* Study on the Male Reproductive System of *Tenebrio molitor*[J]. *J Anhui Agric Sci*, 2010, **38**(6): 2886-2887. DOI: 10.13989/j.cnki.0517-6611.2010.06.150.
- [16] ZHANG B B, LYU Q H, HUA B Z. Male Reproductive System and Sperm Ultrastructure of *Furcatopanorpa Longihypovalva* (Hua and Cai, 2009) (Mecoptera: Panorpidae) and its Phylogenetic Implication[J]. *Zoologischer Anzeiger*, 2016, **264**: 41-46. DOI: 10.1016/j.jcz.2016.07.004.
- [17] PINTO D, SILVA E B D, ZINA V, *et al.* Comparison of Female Reproductive System and Male Sperm Bundles among Mealybug Species from Three Different Genera [C]//XIII International Symposium on Scale Insect Studies. Sofia, Bulgaria: [s.n.], 2013.