



普通大蓟马生长发育与内部结构观察 及其对甲维盐胁迫的响应

黄天宝^{1,2} 赵林燕¹ 俞起航¹ 董文博¹ 李芬^{1,2*} 吴少英^{1,2*}

(1. 海南大学三亚南繁研究院, 三亚 572025; 2. 海南大学热带农林学院, 儋州 571737)

摘要: 为明确普通大蓟马 *Megalurothrips usitatus* 的发育历期、形态解剖结构及其对甲维盐胁迫的响应, 测定普通大蓟马的发育历期, 于体视显微镜上观察雌、雄成虫的生殖系统结构, 并研究亚致死浓度甲维盐处理后雌、雄成虫生殖结构的发育情况。结果显示: 普通大蓟马发育分6个阶段, 体型随其发育变大, 且体色加深。其消化道由前、中、后肠及4根马氏管构成。雌成虫生殖系统含8根卵巢管的卵巢、受精囊和镰刀状产卵器; 雄成虫具有成对精巢、附腺和刺状阴茎。经亚致死浓度 LC_{25} 甲维盐处理后, 普通大蓟马化伪蛹率由84.87%降至66.24%, 并且雌成虫的卵巢管与雄成虫的精巢发育畸形。表明亚致死浓度甲维盐能显著抑制普通大蓟马的化伪蛹及变态发育, 并对其生殖系统结构造成破坏。

关键词: 普通大蓟马; 甲维盐; 发育历期; 消化道; 生殖系统

Growth, development, internal structure and responses of Asian bean thrips *Megalurothrips usitatus* to emamectin benzoate stress

Huang Tianbao^{1,2} Zhao Linyan¹ Yu Qihang¹ Dong Wenbo¹ Li Fen^{1,2*} Wu Shaoying^{1,2*}

(1. Sanya Institute of Breeding and Multiplication, Hainan University, Sanya 572025, Hainan Province, China;

2. School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Danzhou 571737, Hainan Province, China)

Abstract: To clarify the developmental duration, internal anatomical structures, and responses to emamectin benzoate stress in Asian bean thrips *Megalurothrips usitatus*, the developmental duration was determined, and the reproductive systems of female and male adults were observed under a stereo microscope. Furthermore, the development of reproductive structures following treatment with sublethal concentrations of emamectin benzoate was investigated. The results showed that the development of *M. usitatus* comprises six stages, with increasing body size and progressively deepening body coloration. The digestive tract consists of the foregut, midgut, hindgut, and four Malpighian tubules. The female reproductive system includes ovaries with eight ovarioles, a spermatheca, and a sickle-shaped ovipositor; whereas male adults possess paired testes, accessory glands and a spine-like aedeagus. After treatment with a sublethal concentration (LC_{25}) of emamectin benzoate, the “pupation” rate of *M. usitatus* decreased from 84.87% to 66.24%, and developmental malformations were observed in the ovarioles of female adults and the testes of male adults. These results indicate that sublethal concentrations of emamectin benzoate significantly inhibit “pupation” and metamorphic development in *M. usitatus*, and cause structural damage to the reproductive system.

Key words: *Megalurothrips usitatus*; emamectin benzoate; developmental duration; digestive tract;

reproductive system

普通大蓟马 *Megalurothrips usitatus*, 别名豆花蓟马, 隶属于缨翅目蓟马科大蓟马属 *Megalurothrips* (Khan et al., 2022), 普通大蓟马通过锉吸式口器吸食汁液及产卵器在果实表面产卵, 使豇豆出现黑头和黑尾的现象, 对作物造成严重为害 (He et al., 2023; Wang et al., 2024)。此外, 普通大蓟马还可传播植物病毒病 (Gao et al., 2024)。该虫可为害 28 种寄主植物, 其中 16 种为豆科植物, 是近年来豆科植物的主要害虫 (Mound & Walker, 1987)。现有研究主要集中在普通大蓟马对不同化学药剂的抗性机理方面, 如 Chen et al. (2023) 通过 RNA 干扰技术沉默 *DN2722* 显著提高了普通大蓟马对啉虫脒的敏感性。目前对其形态学分析与生殖结构的研究相对较少。如 Khan et al. (2022) 对普通大蓟马的触角、缨翅和刚毛进行了观察; Wang et al. (2019) 分析了普通大蓟马触角感觉器的形态和分布, 发现由 6 个子节组成且记录到 7 种形态感器类型; 朱姝萌等 (2024) 观察发现雌成虫体长略大于雄成虫, 腹部占身体比例最大, 中胸背板与后胸背板各有一对翅, 触角分为 8 节, 分别由柄节、梗节和 6 节鞭节组成。

杀虫剂的致死剂量主要用于毒性研究, 而在环境毒理学中亚致死效应更重要 (Desneux et al., 2006)。亚致死剂量会引起幸存个体的繁殖力和生育能力、寿命和发育期发生变化 (Poorjavad et al., 2014)。Pakyari & Enkegaard (2015) 发现亚致死浓度 LC_{10} 、 LC_{20} 与 LC_{30} 阿维菌素严重影响长角六点蓟马 *Scolothrips longicornis* 雌成虫的繁殖力与寿命。王怀奇等 (2024) 发现 LC_{15} 浓度烯啶虫胺显著影响了褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 的繁殖力, 使雌成虫产卵量减少、产卵历期缩短。杨航等 (2017) 发现 LC_{10} 浓度噻虫嗪使 F_0 代白背飞虱 *Nilaparvata lugens* 雌成虫寿命显著延长, F_1 代若虫发育历期显著延长, LC_{25} 浓度噻虫嗪会使 F_1 代白背飞虱雌成虫产卵量显著减少。甲维盐是一种高效、广谱的半合成杀虫剂, 常用于防治农业和林业害虫。Peng et al. (2025) 发现甲维盐对普通大蓟马的防治效果较好。Liu et al. (2022) 发现亚致死浓度 LC_5 、 LC_{10} 与 LC_{20} 甲维盐处理小菜蛾 *Plutella xylostella* 后, 与对照组相比, F_0 代小菜蛾蛹重、蛹期、雌性生殖力与卵黄含量都提高; 化伪蛹率与卵巢管长度均降低, 还导致 F_1 代卵巢管长度缩短、卵孵化率降低和蛹重增加。Moustafa et al. (2016) 研究报道甲维盐亚致死浓度处理甘蓝夜蛾

Mamestra brassicae 后会使其幼虫和蛹的发育历期延长, 并对繁殖产生负面影响。而 LC_{30} 浓度甲维盐处理番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 后会延长其幼虫发育历期并降低蛹重、寿命和繁殖力 (Ziaee & Sohrabi, 2022); LC_{30} 浓度甲维盐处理舞毒蛾 *Lymantria dispar* 后会降低幼虫体重 (Xu et al., 2021)。目前国内外关于普通大蓟马生殖系统的研究尚不深入。

本研究观察普通大蓟马的发育历程, 并在普通大蓟马解剖后进行图像采集并分析, 明确其发育历程及生殖结构, 并研究甲维盐亚致死浓度对普通大蓟马化伪蛹及生殖系统发育的影响, 进一步完善普通大蓟马的形态学资料, 深化对其生活习性与发生规律的认识, 以期对甲维盐的田间防控应用及相关综合防控策略的制订提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源: 本试验所使用的普通大蓟马由海南大学植物保护学院范咏梅教授于 2018 年馈赠, 饲养于室内养虫罐 (240 mL 组培瓶, 瓶盖开口长 3 cm × 宽 3 cm, 将纱布用热熔胶粘于开口处保持通风)。将种植于海南省三亚市崖州区坝头基地 ($109^{\circ}15'E$, $18^{\circ}19'N$) 的新鲜豇豆洗净, 切成长度约 5 cm 的豇豆段放入养虫罐中饲喂, 置于人工气候箱中进行继代饲养, 连续饲养 10 代后取成虫和 2 龄若虫进行后续试验。饲养温度为 $(26 \pm 1)^{\circ}C$ 、湿度为 $(70 \pm 5)\%$ 、光周期为 14 L: 10 D。

试剂及仪器: 95% 甲氨基阿维菌素 (emamectin benzoate), 北京颖泰嘉和生物科技股份有限公司; Triton X-100 溶液, 德国 Sigma 公司; 其他试剂均为国产分析纯。SZ61 体视显微镜, 日本 Olympus 公司; LG-S80 组织切片数字扫描仪, 塞维尔生物科技股份有限公司。

1.2 方法

1.2.1 普通大蓟马发育过程观察

将 1 头雌成虫与 1 头雄成虫放置于直径 2.5 cm、高 8.0 cm 的透明玻璃管中, 底部垫入吸水纸, 放入新鲜豇豆, 使用透气海绵塞封闭管口。由于普通大蓟马产卵于豇豆组织内部, 无法观察到卵的具体形态, 待其孵化后每隔 12 h 观察 1 次, 饲养温度为 $(26 \pm 1)^{\circ}C$ 、湿度为 $(70 \pm 5)\%$ 、光周期为 14 L: 10 D。

依据朱姝萌等 (2024) 研究中普通大蓟马的形态

特征,普通大蓟马的发育阶段可按以下标准区分:孵化后体长0.2 mm左右、通体透明或淡黄色且具红色点状复眼的个体为1龄若虫;体长长至约1.0 mm且体色转为橘红色的为2龄若虫;随后虫体出现短粗翅芽进入前伪蛹期;翅芽显著增大并延长后发育为伪蛹期;最终羽化为体长约1.0 mm的成虫,成虫体色呈黑褐色,其缨翅前缘、后缘中部及末端亦呈黑褐色。

1.2.2 普通观察大蓟马内部形态结构

将普通大蓟马雌、雄成虫吸入1.5 mL离心管,置于冰上冷冻麻醉,取出后置于冰浴中的载玻片上,去掉足与翅。虫体腹面朝上,滴加磷酸盐缓冲液覆盖虫体。取两根昆虫针,一根固定胸部,另一根刺破腹部倒数第2节节间膜,钩住腹部末端,牵出生殖系统。分别选取10头普通大蓟马雌、雄成虫分离肠道、马氏管与卵巢管,进行观察分析。置于体视显微镜上拍摄完整图像。

另取普通大蓟马雌、雄成虫各10~15头,经通用型组织固定液于4℃固定24 h,磷酸盐缓冲液清洗后进行梯度乙醇脱水。依次使用无水乙醇与脱蜡透明液体积比1:1混合液、纯脱蜡透明液处理,使普通大蓟马腹部石蜡切片透明。随后将样品置于长31×宽26×高5 mm的包埋盒中,滴加石蜡包埋,凝固后切片。切片经2次脱蜡透明液处理,依次进行苏木精染色、盐酸乙醇分色、1%氨水返蓝,各步骤间用蒸馏水清洗。随后以无水乙醇与脱蜡透明液体积比1:1混合液处理,再转入纯脱蜡透明液,吸除余液。最后使用组织切片数字扫描仪观察5个普通大蓟马石蜡切片并拍摄。

1.2.3 普通大蓟马甲维盐毒力测定

采用王泽华等(2011)的叶管药膜法并加以改良进行毒力测定。使用Triton X-100将甲维盐梯度稀释成浓度为62.5、125、250、500和1 000 mg/L溶液备用,并以溶剂Triton X-100为空白对照。将1.5 mL离心管盖子烫出孔洞,分别取不同浓度药液完全浸湿离心管内壁后倒出,自然晾干;同时切取1 cm长的豇豆段与裁剪长2 cm×宽2 cm的纱布,浸入对应浓度药液中,2 min后取出晾干备用,每个浓度设置3个重复。然后吸取15~30头普通大蓟马雌成虫放入制备好的上述离心管内,并接入浸泡过对应药液的豇豆段,管口覆盖纱布并扣盖以防止试虫逃逸。处理后48 h观察死亡情况,以毛笔尖触碰虫体无反应视为死亡。采用Poloplus 2.0软件计算普通大蓟马雌成虫在甲维盐处理下的毒力回归方程斜率、亚致死浓度 LC_{25} 及95%置信区间,并对照卡方表检验毒力测定数据是否符合概率值模型。

1.2.4 甲维盐亚致死浓度处理普通大蓟马

参照1.2.3方法使用亚致死浓度甲维盐处理普通大蓟马,以Triton X-100溶液浸管作为对照组。将豇豆段分别浸泡于对应药液中,5 min取出晾干备用。待玻璃管晾干后,接入普通大蓟马2龄若虫,记录若虫数量后投入经药液处理的豇豆段,管口以透气海绵封口,每个处理设3个重复。待化伪蛹后统计化伪蛹数量,计算化伪蛹率。羽化为成虫后,分别统计处理组与对照组的成虫数量,每组各选取5头雌、雄成虫进行解剖,观察生殖系统,具体方法参考1.2.2,比较经甲维盐亚致死浓度处理后普通大蓟马生殖系统的形态差异。

1.3 数据分析

试验数据采用GraphPad Prism 10.1.2软件进行分析。两组间数据采用T检验法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 普通大蓟马不同发育历期的形态特征

通过解剖观察到普通大蓟马的卵体呈微小白色透明的肾形,长度约为0.1~0.2 mm(图1-A)。卵孵化后即进入1龄若虫期,初始体长约0.2 mm,通体白色透明,复眼为红色点状,此时透过体壁可清晰观察到其在豇豆中取食的肠道内容物(图1-B)。孵化后12 h,虫体略有增长,体色逐渐加深,腹部由透明白色转为透明淡黄色,头、胸部仍维持透明状态(图1-C)。再经12 h发育,腹部黄色进一步加深,胸部也开始由透明向淡黄色过渡(图1-D)。继续发育12 h后,体色近乎整体呈淡黄色,仅胸部局部区域仍略带透明(图1-E)。此后经历约24 h,1龄若虫体长增至约0.5 mm,全身均为淡黄色(图1-F)。随后进入2龄若虫,体长约达1.0 mm,体色明显加深为橘红色,复眼仍为红色点状,尚未完全发育成熟(图1-G)。

2龄若虫发育48 h后进入前伪蛹期,体长约1.0 mm,体色转为橘黄色,虫体结构与复眼逐步成熟,触角短粗,呈白色透明,背部开始出现透明的短翅芽(图1-H)。前伪蛹继续发育12 h,进入伪蛹阶段,体长与体色与前期相近,仍为橘黄色,虫体与复眼接近成虫形态,背部翅芽明显增大并延长,触角向后平展(图1-I)。随后12 h内,翅芽末端、触角末端及足端颜色加深至黑色(图1-J)。

伪蛹再经24 h发育,最终羽化为雌、雄成虫。雌成虫体长约1.0 mm,体色以黑褐色为主,缨翅前缘、后缘中部及末端亦为黑褐色,其余部分为米白色,体型较雄虫更大。雄成虫体色则整体呈深黄色,仅头部为黑褐色,腹部具黑褐色横纹(图1-K~L)。

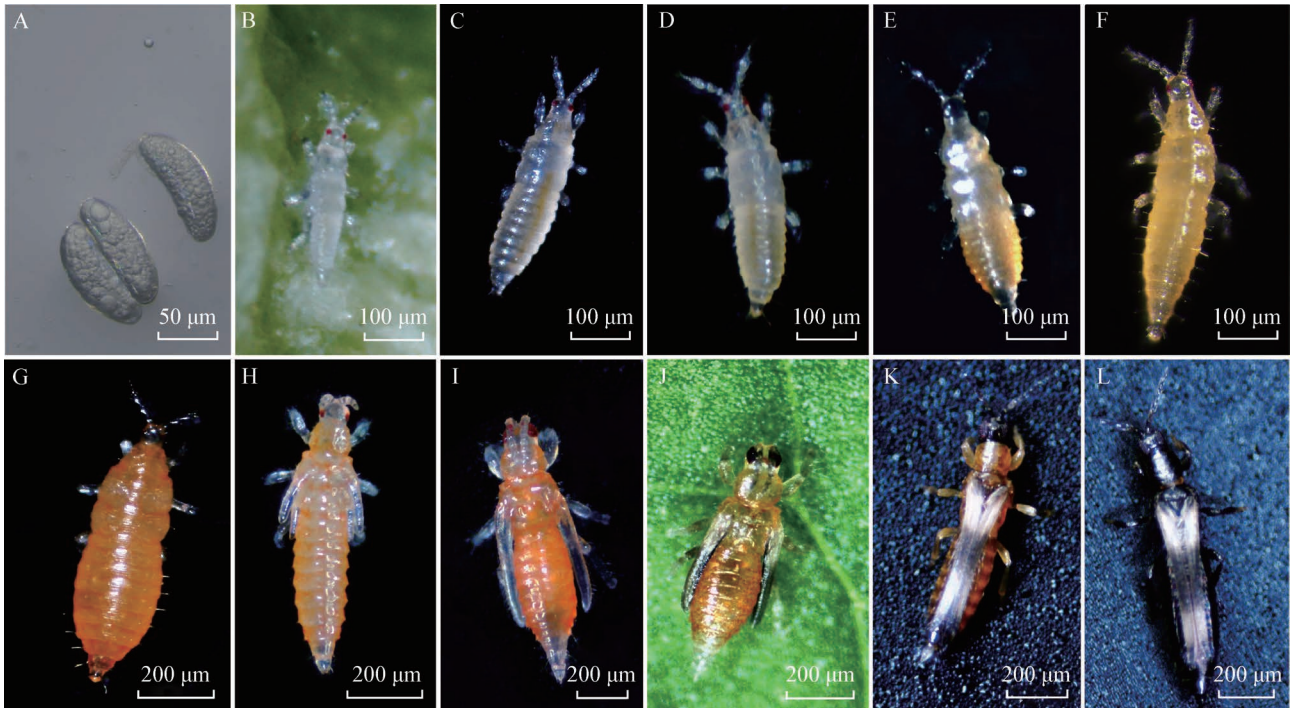


图1 普通大蓟马的发育历程
A: 卵; B: 刚孵化的1龄若虫; C: 孵化12 h后的1龄若虫; D: 孵化24 h后的1龄若虫; E: 孵化36 h后的1龄若虫; F: 孵化48 h后的1龄若虫; G: 2龄若虫; H: 前伪蛹; I: 伪蛹; J: 发育12 h后的伪蛹; K: 雄成虫; L: 雌成虫。A: Egg; B: newly hatched first instar nymph; C: first instar nymph at 12 h after hatching; D: first instar nymph at 24 h after hatching; E: first instar nymph at 36 h after hatching; F: first instar nymph at 48 h after hatching; G: second-instar nymph; H: prepseudopupa; I: pseudopupa; J: pseudopupa at 12 h after "pupation"; K: male adult; L: female adult.

图1 普通大蓟马的发育历程
Fig. 1 Developmental durations of *Megalurothrips usitatus*

2.2 普通大蓟马内部形态特征

普通大蓟马的消化道按形态可分为前肠、中肠和后肠3部分。前肠位于消化道最前端,整体较短且较细,占整个消化道的比例较小。中肠由前、中、后3段组成,其中前中肠直径最大,中中肠与后中肠粗细相近(图2-A)。后肠与中肠粗细相当,但长度较短,主要负责排便、渗透调节以及水分和离子的再吸收(图2-B)。普通大蓟马共有4条马氏管,均着生在中、后肠交界处,管形短而直,无分叉,雌、雄成虫均有此结构(图2-B~C)。

雌成虫具8条卵巢管,中下部膨大,内含卵泡,卵泡体积自下而上逐渐减小(图2-D)。产卵器呈镰刀状,末端尖锐,便于将卵产于植物组织内,颜色自深褐色基部向末端渐变为淡黄色(图2-E)。受精囊位于腹部末端,呈白色透明卵泡状,用于接受并储存交配后的精子(图2-F)。

普通大蓟马雄成虫具有成对的精巢,颜色为淡黄色,与输精管连接,精巢相同,普通大蓟马具有1对附腺与输精管相连,呈不规则的乳白色囊状结构,

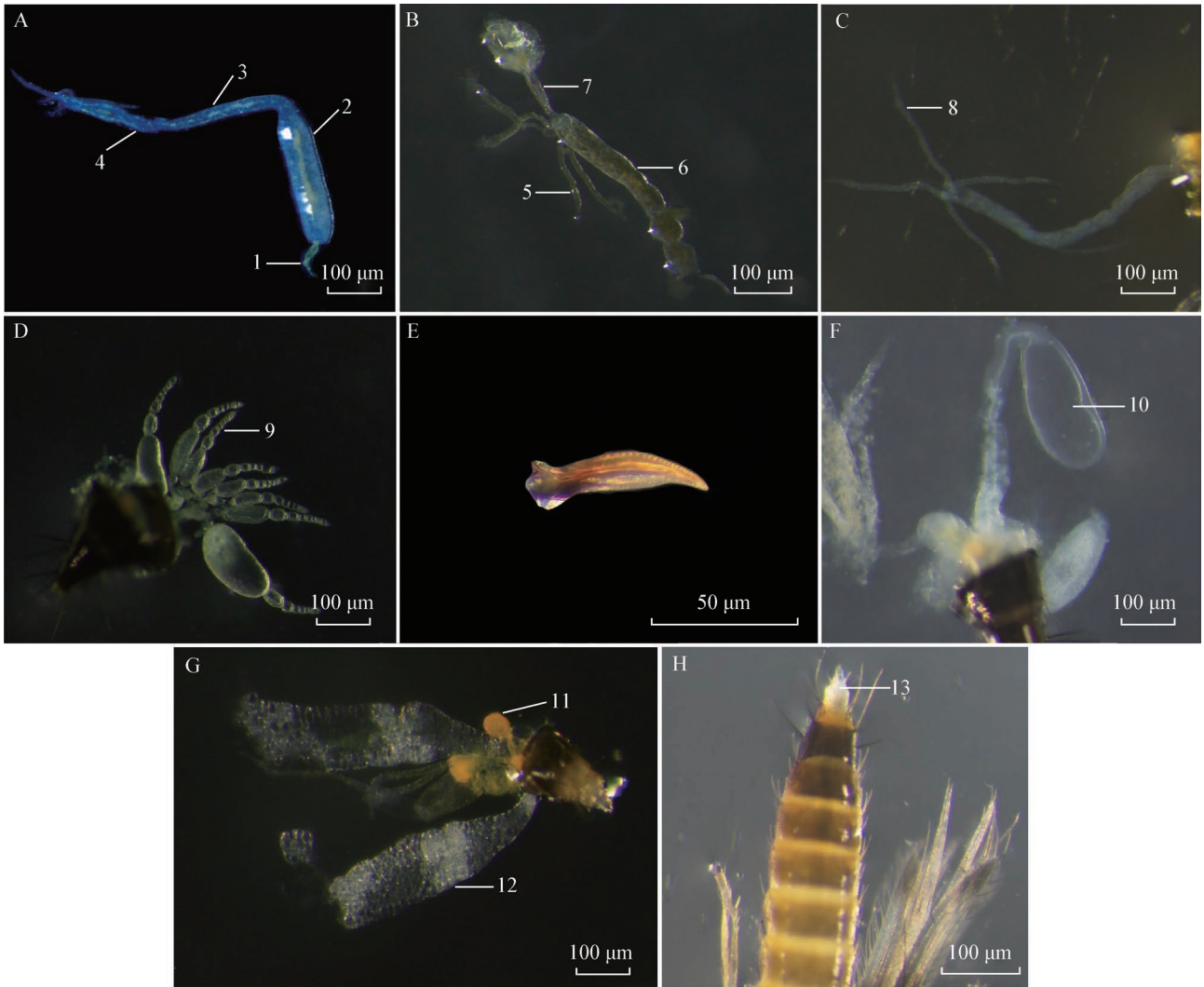
内部充满分泌物(图2-G)。普通大蓟马阳茎整体形态为白色透明且末端为刺状的管状突起(图2-H)。

2.3 石蜡切片染色形态特征

雌成虫切片观察发现,卵巢管中心存在一个卵室用于发育卵母细胞(图3-A)。雄成虫切片观察发现精巢整体呈圆形,阳茎末端呈刺状的管状突起(图3-B),与解剖结果观察的形态学特征一致。

雌成虫切片显示,消化道内部为中空结构,内壁分布不规则的微绒毛,同时内部存在一些自噬泡结构。卵的形态结构与体视显微镜观察到的结果相似,均为肾形,内部充满颗粒状的内容物。雌成虫切片观察到的卵巢管形态与体视显微镜观察结果一致,为卵泡状并从基部开始延伸至末端不断缩小,雌成虫卵巢管的每个卵泡结构中分布着1个卵室用来发育卵母细胞(图4-A)。

雄成虫切片结果显示,雌、雄成虫消化道结构相同,均为内部中空,且消化道内壁上分布着不规则的微绒毛。雄成虫的附腺为不规则囊状结构,且内部充满了分泌物,分泌物中还含有泡状结构(图4-B)。



A: 雌成虫消化道; 1: 前肠; 2: 前中肠; 3: 中中肠; 4: 后中肠。B: 雌成虫马氏管与后肠; 5: 雌成虫马氏管; 6: 中肠; 7: 后肠。C: 雄成虫马氏管; 8: 雄成虫马氏管。D: 雌成虫卵巢管; 9: 卵巢管。E: 雌成虫产卵器。F: 雌成虫受精囊; 10: 受精囊。G: 雄成虫精巢及附腺; 11: 精巢; 12: 附腺。H: 雄成虫腹部; 13: 阳茎。A: Alimentary canal of female adult; 1: foregut; 2: anterior midgut; 3: median midgut; 4: posterior midgut. B: Malpighian tubules and proctodeum of female adult; 5: Malpighian tubules of female adult; 6: midgut; 7: hindgut. C: Malpighian tube of male adult; 8: Malpighian tube of male. D: Ovarioles of female adult. 9: Ovariole; E: Ovipositor of female adult. F: Spermatheca of female adult. 10: spermatheca. G: Testes and paragonia glands of male adult; 11: testis; 12: paragonia gland. H: Abdomen of male adult. 13: aedeagus.

图2 普通大蓟马雌雄成虫的内部形态结构

Fig. 2 Internal anatomical structures of female and male *Megalurothrips usitatus*

石蜡切片染色结果显示,雌、雄成虫的生殖系统结构在其体内分布情况与体视显微镜的观察结果一致。

2.4 甲维盐对蓟马化伪蛹率及生殖系统的影响

甲维盐对普通大蓟马的 LC_{25} 为48.56 mg/L。甲维盐亚致死浓度处理后普通大蓟马若虫对照组化伪蛹率为84.87%,甲维盐处理组化伪蛹率为66.24%,两者间差异显著($P=0.014$,图5)。表明甲维盐会对普通大蓟马2龄若虫的化伪蛹率产生影响。

甲维盐处理2龄若虫后,待化伪蛹为成虫后解剖,观察甲维盐对普通大蓟马生殖系统的影响。形态学观察显示,处理组与对照组的雄虫精巢发育存在明显差异。对照组精巢呈均匀淡黄色,附腺为不规则白色囊状结构(图6-A);处理组精巢虽整体颜色与大小与对照组无差异,但其中心区域出现透明化(图6-B),附腺形态与对照组一致。表明甲维盐处理会影响普通大蓟马雄成虫的精巢发育,但对附腺无显著影响。

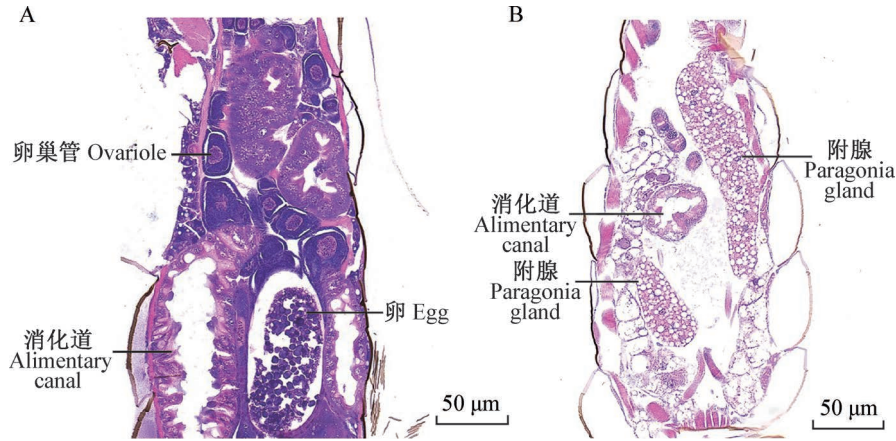


图3 横切普通大蓟马雌(A)、雄成虫(B)腹部石蜡切片染色

Fig. 3 Stained transverse paraffin section of the abdomen of female (A) and male (B) adults of *Megalurothrips usitatus*

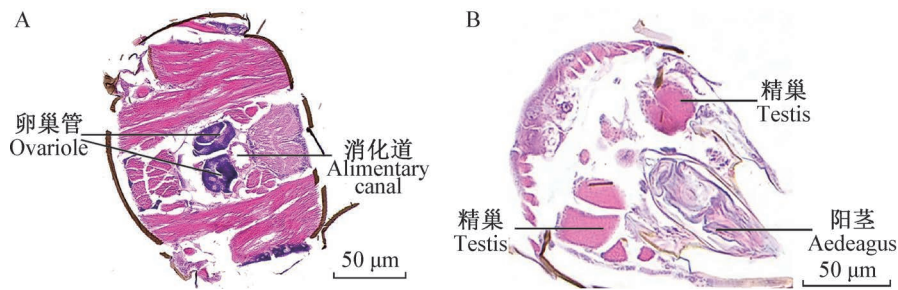


图4 纵切普通大蓟马雌(A)、雄成虫(B)腹部石蜡切片染色

Fig. 4 Stained longitudinal paraffin section of the abdomen of female (A) and male (B) adults of *Megalurothrips usitatus*

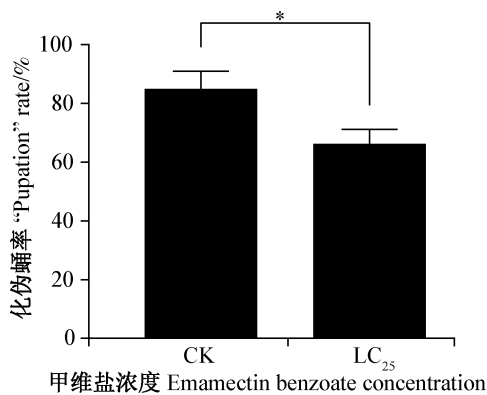


图5 甲维盐对普通大蓟马化伪蛹率的影响

Fig. 5 Effect of emamectin benzoate on the "pupation" rate of *Megalurothrips usitatus*

图中数据为平均数±标准误。*表示对照与处理间经 t 检验法检验差异显著($P<0.05$)。Data are mean±SE.* indicates significant difference between the control and treatment groups by t test ($P<0.05$).

形态学观察结果显示,对照组与处理组雌成虫均具有8条卵巢管。对照组卵巢发育正常,结构完整;卵巢管形态清晰,从基部至末端逐渐缩小,其内

卵粒多呈边缘清晰的透明肾形(图7-A)。处理组虽然卵巢管数量未变,但形态发育出现异常,表现为卵巢管透明与形态不规则,且其中部分卵粒丧失标准肾形呈透明条状(图7-B)。

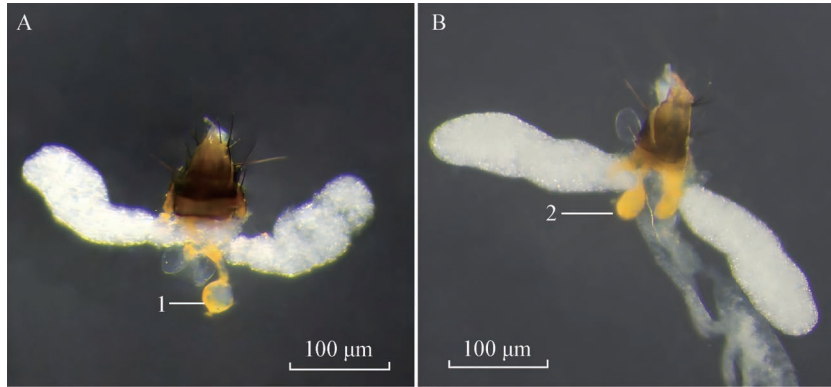
综合观察结果发现,甲维盐亚致死浓度 LC_{25} 会对普通大蓟马化伪蛹及生殖系统发育产生影响,使普通大蓟马化伪蛹率降低且影响到雌成虫卵、卵巢管及雄成虫精巢的生长发育,导致普通大蓟马的生殖器官发育出现畸形。

3 讨论

普通大蓟马是一种渐变态昆虫,伪蛹期活动减少但仍有活动能力,在寄主植物上主要分为6个发育阶段:卵、1龄若虫、2龄若虫、前伪蛹、伪蛹和成虫,2龄若虫虫期最长且最活跃(谭珂,2015)。本研究观察普通大蓟马不同发育阶段的变化,得出类似结论,即肾形卵孵化出的白色透明1龄若虫生长发育后体色逐渐加深为橙黄色;进入2龄若虫后,体色进一步转为橘红色。此后虫体出现翅芽,进入前伪

蛹阶段;随着翅芽延长,发育为伪蛹;最终体长增加、体色继续加深,羽化为雌、雄成虫。雌成虫的体长大

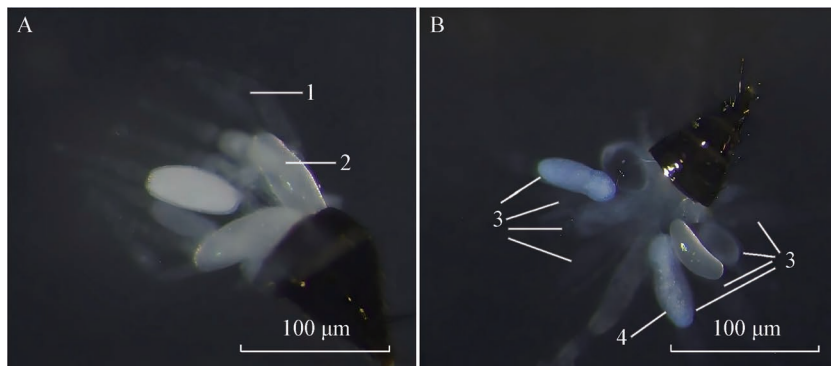
于雄成虫,可能是由于雌成虫承担着产卵、繁衍后代的重任(Reeve & Fairbairn, 1999)。



A: 对照组; 1: 发育良好的精巢。B: 处理组; 2: 发育畸形的精巢。A: Control group; 1: well-developed testis. B: Treatment group; 2: malformed testis.

图6 甲维盐对普通大蓟马雄成虫精巢的影响

Fig. 6 Effect of emamectin benzoate on the testes of male *Megalurothrips usitatus* adult



A: 对照组; 1: 发育良好的卵巢; 2: 发育良好的卵。B: 甲维盐处理组; 3: 发育畸形的卵巢; 4: 发育畸形的卵。A: Control group; 1: well-developed ovariole; 2: well-developed egg. B: Emamectin benzoate treatment group; 3: malformed ovariole; 4: malformed egg.

图7 甲维盐对普通大蓟马雌成虫卵巢管的影响

Fig. 7 Effect of emamectin benzoate on the ovarioles of female *Megalurothrips usitatus* adult

昆虫的消化道主要负责昆虫食物的加工,包括消化、吸收和排出粪便(Gullan & Cranston, 2014)。昆虫的消化道由前肠、中肠和后肠组成(Nardi et al., 2016)。本研究明确了普通大蓟马的消化道由前肠、中肠和后肠3部分组成。前肠位于消化道最前端;中肠作为主要消化场所,占据消化道大部分,是最长且直径最粗的部分;后肠直径与中肠相近,但长度较短。马氏管作为排泄器官,共4条,着生于中、后肠交界处,雌、雄成虫间无差异。与叶蝉科、蚜科和金龟幼虫不同,普通大蓟马的马氏管长度较短,呈线状,中间无分叉(王美靖, 2023; Ma et al., 2024; 吕可维, 2025)。本研究通过解剖观察,不仅证实普通大蓟马具备典型昆虫的消化道结构,也揭示了其

在马氏管形态上的独特特征。

昆虫生殖系统是配子发生与连续繁殖的关键结构,由外生殖器和内生殖器组成(姜振宇等, 2024),其多样性反映了昆虫强大的繁殖适应能力(Chen et al., 2025)。本研究通过解剖观察,明确了普通大蓟马生殖系统结构:雌性内生殖器含受精囊(白色透明卵泡状)与卵巢(8根卵巢管,管内卵室发育卵母细胞),外生殖器为镰刀状产卵器;雄性内生殖器含淡黄色圆形精巢(与输精管相连)和不规则乳白色附腺(内含分泌物),外生殖器为末端刺状的管状阴茎。石蜡切片染色观察普通大蓟马的结果与前期解剖结果相同。本研究发现普通大蓟马具8根卵巢管,与西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 的观察结果一致

(马亚斌等, 2016), 推测二者因同属蓟马科而生殖系统存在保守性。然而, 结构相似未必意味着功能完全一致, 二者生殖系统的功能差异仍需进一步探究。

Mokbel & Huesien (2020) 研究发现, 甲维盐亚致死浓度 LC_5 和 LC_{15} 处理后草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的发育时间和寿命延长, 种群数量减少。亚致死浓度 LC_{30} 甲维盐对荔枝蛀蒂虫 *Conopomorpha sinensis* 产卵量、卵巢发育、交配率和成活率均产生抑制作用 (Yao et al., 2018)。本研究结果表明, 亚致死浓度 LC_{25} 甲维盐直接抑制普通大蓟马 2 龄若虫向伪蛹期的正常生长发育, 导致化伪蛹率降低。更关键的是, 还会在成功化伪蛹的个体中引发生殖系统畸形, 具体表现为雌、雄成虫的卵巢管与精巢均出现透明化、形态不规则等病理变化, 表明甲维盐的毒性作用影响了其发育过程。因此, 甲维盐的亚致死效应通过降低化伪蛹率与生殖系统发育畸形的双重影响对普通大蓟马种群的增长产生比直接致死更为深远的抑制作用, 本研究为甲维盐在田间综合治理中更科学地评估药效和制订防控策略提供了重要理论依据。

参 考 文 献 (References)

- Chen WY, Li ZY, Zhou CY, Ali A, Ali S, Wu JH. 2023. RNA interference in cytochrome P450 monooxygenase (CYP) gene results in reduced insecticide resistance in *Megalurothrips usitatus* Bagnall. *Frontiers in Physiology*, 14: 1130389
- Chen XY, Li LQ, Hu F, Wang Y, Zhang YJ, Zhou ZH, Zhou Q, Chen XY, Li LQ, Hu F, et al. 2025. Development of the endoreproductive system and the effect of mating status on egg development in adult *Hermetia illucens* L. *Insects*, 16(4): 330
- Desneux N, Denoyelle R, Kaiser L. 2006. A multi-step bioassay to assess the effect of the deltamethrin on the parasitic wasp *Aphidius ervi*. *Chemosphere*, 65(10): 1697–1706
- Gao RB, Ma SY, Geng JJ, Zhang K, Xian LM, Liu KY, Cao P, Yuchi ZG, Wu SY. 2024. Functional characterization of double mutations T929I/K1774N in the voltage-gated sodium channel of *Megalurothrips usitatus* (Bagnall) related to pyrethroid resistance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 72(21): 11958–11967
- Gullan PJ, Cranston PS. 2014. *The insects: an outline of entomology*, fifth edition. Oxford: Blackwell Publishing
- He YC, Gao Y, Hong HN, Geng JM, Chen QL, Zhou Y, Zhu ZR, He YC, Gao Y, Hong HN, et al. 2023. *Megalurothrips usitatus* directly causes the black-heads and black-tail symptoms of cowpea along with the production of insect-resistance flavonoids. *Plants*, 12(22): 3865
- Jiang ZY, Liu WR, Liu MK, Gui LY, Zhou RD, Hua DK, Tang JT, Sun KL, Zhang GH, Zhang PP, et al. 2024. Morphological characteristics of internal reproductive system of *Bactrocera minax*. *Journal of Environmental Entomology*, 46(1): 296–306 (in Chinese) [姜振宇, 刘文茹, 刘梅柯, 桂连友, 周仁迪, 华登科, 汤建涛, 孙康林, 张国辉, 张盼盼, 等. 2024. 柑橘大实蝇的内生殖系统形态结构. *环境昆虫学报*, 46(1): 296–306]
- Khan R, Seal D, Adhikari R. 2022. Bean flower thrips *Megalurothrips usitatus* (Bagnall) (Insecta: Thysanoptera: Thripidae). University of Florida, IFAS Extension: EDIS Publication
- Liu KX, Guo Y, Zhang CX, Xue CB. 2022. Sublethal effects and reproductive hormesis of emamectin benzoate on *Plutella xylostella*. *Frontiers in Physiology*, 13: 1025959
- Lü KW. 2025. Comparative morphology of the digestive, excretory and reproductive systems in Cicadellidae (Hemiptera: Auchenorrhyncha). Ph D thesis. Yangling: Northwest A&F University (in Chinese) [吕可维. 2025. 叶蝉科消化、排泄及生殖系统的比较形态学研究(半翅目: 头喙亚目). 博士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学]
- Ma WR, Liu L, Wang G, Bai JL, Hua BZ. 2024. Ultrastructure of the larval rectum of the scorpionfly *Panorpa liui* (Mecoptera: Panorpidae). *Arthropod Structure & Development*, 82: 101383
- Ma YB, Sun LJ, Li HG, Wang SF, Zhang B, Zheng CY, Wan FH. 2016. Effects of high temperature on ovary development and yolk protein content of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Acta Entomologica Sinica*, 59(2): 127–137 (in Chinese) [马亚斌, 孙丽娟, 李洪刚, 王思芳, 张彬, 郑长英, 万方浩. 2016. 高温对西花蓟马卵巢发育及卵黄蛋白含量的影响. *昆虫学报*, 59(2): 127–137]
- Mokbel ES, Huesien A. 2020. Sublethal effects of emamectin benzoate on life table parameters of the cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (Boisd). *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1): 155–158
- Mound LA, Walker AK. 1987. Thysanoptera as tropical tramps: New records from New Zealand and the Pacific. *New Zealand Entomologist*, 9(1): 70–85
- Moustafa MAM, Kákai Á, Awad M, Fónagy A. 2016. Sublethal effects of spinosad and emamectin benzoate on larval development and reproductive activities of the cabbage moth, *Mamestra brassicae* L. (Lepidoptera: Noctuidae). *Crop Protection*, 90: 197–204
- Nardi JB, Bee CM, Taylor SJ. 2016. Compartmentalization of microbial communities that inhabit the hindguts of millipedes. *Arthropod Structure & Development*, 45(5): 462–474
- Pakyari H, Enkegaard A. 2015. Sublethal and transgenerational effects of abamectin on the biological performance of the predatory thrips *Scolothrips longicornis* (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Economic Entomology*, 108(2): 559–565
- Peng ZK, Li MN, Guo CS, Zheng HX, Wu MY, Yin F, Xiao Y, Wang HH, Kong XY, Zalucki MP, et al. 2025. Field-based evaluation of insecticide effectiveness on *Megalurothrips usitatus* in Guangdong, China: implications for pest control strategies. *Insects*, 16(5): 459
- Poorjavad N, Goldansaz SH, Dadpour H, Khajehali J. 2014. Effect of *Ferula assafoetida* essential oil on some biological and behavioral traits of *Trichogramma embryophagum* and *T. evanescens*. *Bio-*

- Control, 59(4): 403–413
- Reeve JP, Fairbairn DJ. 1999. Change in sexual size dimorphism as a correlated response to selection on fecundity. *Heredity*, 83(6): 697–706
- Tan K. 2015. Effect of host plants and adults sex ratios on the population of *Megalurothrips usitatus*. Master thesis. Haikou: Hainan University (in Chinese) [谭珂. 2015. 寄主植物和成虫性比对普通大蓟马种群的影响. 硕士学位论文. 海口: 海南大学]
- Wang HT, Huang LF, Zheng XL, Gong R, Cao XM, Yang L, Wang HT, Huang LF, Zheng XL, Gong R, et al. 2024. An age-stage, two-sex life table for *Megalurothrips usitatus* feeding on eight different crop plants. *Agronomy*, 14(10): 2283
- Wang HQ, Dong QQ, Wang TT, Deng D, Ding YT, Zhang W, Zhao XD, Ge LQ. 2024. Effects of sublethal concentrations of nitenpyram on resistance substances in rice and reproductive parameters of the brown planthopper *Nilaparvata lugens*. *Journal of Plant Protection*, 51(3): 719–730 (in Chinese) [王怀奇, 董俏俏, 王婷婷, 邓迪, 丁雨婷, 张文, 赵旭东, 戈林泉. 2024. 亚致死浓度烯啶虫胺对水稻抗性物质及褐飞虱生殖参数的影响. 植物保护学报, 51(3): 719–730]
- Wang MJ. 2023. Ultrastructure of the midgut and Malpighian tube of four species of Scarabaeidae larvae, with analysis of intestinal microbial community. Master thesis. Shenyang: Shenyang Agricultural University (in Chinese) [王美靖. 2023. 四种金龟幼虫中肠与马氏管超微结构研究及肠道微生物群落分析. 硕士学位论文. 沈阳: 沈阳农业大学]
- Wang XS, Shaukat A, Han Y, Yang B, Tang LD, Wu JH, Wang XS, Shaukat A, Han Y, Yang B, et al. 2019. Morphology and distribution of the antennal sensilla of two species, *Megalurothrips usitatus* and *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae). *Insects*, 10(8): 251
- Wang ZH, Hou WJ, Hao CY, Wu QJ, Xu BY, Zhang YJ. 2011. Monitoring the insecticide resistance of the field populations of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* in Beijing area. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 542–547 (in Chinese) [王泽华, 侯文杰, 郝晨彦, 吴青君, 徐宝云, 张友军. 2011. 北京地区西花蓟马田间种群的抗药性监测. 应用昆虫学报, 48(3): 542–547]
- Xu Z, Bai JY, Li L, Liang LW, Ma XQ, Ma L. 2021. Sublethal concentration of emamectin benzoate inhibits the growth of gypsy moth by inducing digestive dysfunction and nutrient metabolism disorder. *Pest Management Science*, 77(9): 4073–4083
- Yang H, Yang H, Jin DC, Dai RH, Zhou C. 2017. Sublethal effects of thiamethoxam on the fecundity of lab populations of white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth). *Journal of Plant Protection*, 44(3): 509–514 (in Chinese) [杨航, 杨洪, 金道超, 戴仁怀, 周操. 2017. 噻虫嗪对白背飞虱试验种群繁殖力的亚致死效应. 植物保护学报, 44(3): 509–514]
- Yao Q, Xu S, Dong Y, Que Y, Quan L, Chen B. 2018. Characterization of vitellogenin and vitellogenin receptor of *Conopomorpha sinensis* Bradley and their responses to sublethal concentrations of insecticide. *Frontiers in Physiology*, 9: 1250
- Zhu SM, Hu GG, Liu MH, Qian YK, Chen CY, Pan L. 2024. Morphological characteristics analysis of *Megalurothrips usitatus*. *Journal of Jiangnan University (Natural Science Edition)*, 52(6): 5–12 (in Chinese) [朱姝萌, 胡格格, 刘明慧, 乾义柯, 陈禅友, 潘磊. 2024. 豇豆普通大蓟马形态学特征分析. 江汉大学学报(自然科学版), 52(6): 5–12]
- Ziaee M, Sohrabi F. 2022. Lethal and sublethal effects of emamectin benzoate on the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 10(1): 91–97

(责任编辑:王璇)