技术与方法

超景深显微系统技术在昆虫形态研究中的应用——以烟粉虱为例*

赵泽坤** 刘佳磊 白润娥*** 闫凤鸣

（河南农业大学植物保护学院，郑州 450046）

摘 要 超景深显微系统是研究昆虫形态和昆虫分类的重要工具，其主要特点是视野广、清晰度高，具分屏选择功能和快捷测量工具，特别是其 3D 合成功能可以获得昆虫标本完整且清晰的图像。本文介绍了超景深显微系统的结构、功能、优势、实际操作中的注意事项，以及在昆虫形态研究中的应用；以烟粉虱 *Bemisia tabaci* 为例，全面介绍了超景深显微系统在昆虫形态研究中的应用步骤，包括开机准备、拍摄、高倍观察、测量、3D 合成等功能。

关键词 超景深显微系统；功能介绍；昆虫形态；烟粉虱

The application of ultra-depth microscopic system technology in studies of insect morphology: A case study on *Bemisia tabaci*

ZHAO Ze-Kun** LIU Jia-Lei BAI Run-E*** YAN Feng-Ming

(College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, China)

Abstract The ultra-depth microscopic system is a powerful tool for research on insect morphology and taxonomy, due to its wide field of view, high resolution, practical split-screen selection functions, rapid measurement tools, and particularly, its 3D synthesis function that allows clear images of insect specimens. This article introduces the structure, function, advantages, and operating precautions of the ultra-depth microscopic system, as well as its application in the study of insect morphology. Using *Bemisia tabaci* as an example, we demonstrate, step by step, the comprehensive application of the ultra-depth microscopic system in insect morphological research, such as startup preparation, capturing images, high-magnification observation, measurement, and 3D synthesis.

Key words ultra-depth microscopic system; function introduction; insect morphology; *Bemisia tabaci*

超景深显微系统（The ultra-depth microscopic system）在昆虫形态研究和昆虫种类鉴定上具有重要作用。本文以烟粉虱 *Bemisia tabaci* 的伪蛹和成虫形态为例，系统介绍超景深显微系统的功能、优势和使用中的注意事项，供进行昆虫形态和分类研究的科技工作者参考。

1 超景深显微系统简介

1.1 组成

以型号 VHX-600 的超景深显微系统为例，主要包括：相机单元、光缆、镜头、载物台、底

*资助项目 Supported projects：河南省科技研发计划联合基金（242103810009）；河南省高等学校重点项目（20A210021）

**第一作者 First author，E-mail：zhaozekun2019@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：yxbre@163.com

收稿日期 Received：2024-12-13；接受日期 Accepted：2025-05-06

座、遥控器和液晶屏（图 1）。

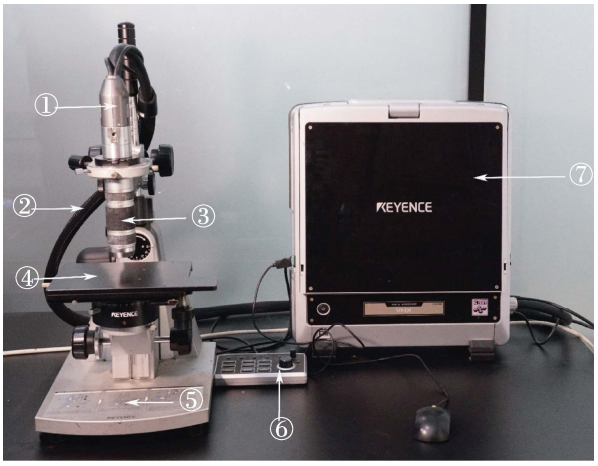


图 1　超景深显微系统组成

Fig. 1　The ultra-depth microscopic system

① 相机单元；② 光缆；③ 镜头；④ 载物台；⑤ 底座；⑥ 遥控器；⑦ 液晶屏。

① Camera; ② Optical cable; ③ Lens; ④ Objective table; ⑤ Base; ⑥ Remote control; ⑦ Liquid crystal display.

1.2　功能

拍摄功能：超景深显微系统高景深，与普通的光学显微镜相比，可实现景深与亮度平衡，视野范围广，清晰度高（腾昭玉，2022）。其载物台的特殊结构可实现 180°旋转，在镜头倾斜、载物台旋转的情况下，视野范围不会偏移，也不必重新调整标本位置，可确保观测的高再现性。上述优点不仅可以减少对标本的损害，还可大大提高观察鉴定的效率。

实时测量功能：超景深显微系统能利用各种工具测量标本的长度、宽度、角度、周长、面积等，所用工具主要包括直线工具、圆弧工具、角度工具、平行线工具等。只需鼠标操作，即可实时对观测画面进行测量，同时保存测量结果和图像，还可迅速对测量结果进行 CSV 数据统计。普通显微测量在进行测量前，需要对不同的物镜进行系统标尺的标定。标尺标定好后，测量前应先调用相应物镜的标尺设定为系统标尺，然后对目标进行相应的线测定、圆测量、角度测量等（张卫光等，2013）。而超景深显微系统因其采用了具有特殊功能的镜头，故在对标本进行测量时，不需要进行标尺标定（张卫光等，2018）。

录像功能：超景深显微系统的录像功能可以观察记录小体昆虫在寄主上的日常活动，包括其取食、求偶、交配、产卵、羽化等行为。不仅能够全面记实地记录目标物的经时变化和细微动作，而且可进行快进、逐帧播放、抽取静止图像等操作。此外，按照 AVI 格式记录视频并保存的文件可以在 VHX 或计算机上播放。

3D 成像功能：普通显微镜在观察和拍摄昆虫标本时，往往会因为标本表面存在凹凸，导致对昆虫的整体或者所要观察的部位难以精准对焦，无法获得清晰完整的图像（林凯明等，2020）。而超景深显微系统的 3D 成像功能是将标本从最高处到最低处，或者从最低处到最高处按照设置的间隔距离依次对焦，并且自动瞬间获得由焦点各异的图像合成的完全对焦图像，以获得昆虫标本完整且清晰的图像（王连昭和史继伟，2012；李天宝等，2021）。

2　超景深显微系统的优势

分屏选择最佳图像：超景深显微系统的分屏功能可以将画面上下、左右、或者四分割后显示，同时并列显示工件的整体图像和放大图像，或将预先存储的样板图像和动画进行比较观察。左右分屏是将画面左右显示图像的中心部分，左右分别切去 25%；上下分屏是将画面上下分割，显示图像的中心部分，上下分别切去 25%；四分屏是将画面四分割，整个图像缩小至 25%后显示。超景深显微系统的分屏选择最佳图像功能便于观测对比图像，只需从 4 种候选模式中单击适合观测的图像即可。

高倍镜观测超微结构、立体效果：超景深显微系统的放大倍数可达 1 000 倍甚至更高，它通常用于观测昆虫的超微结构，例如昆虫触角、足和生殖器上的感受器等。在超高放大倍数下，图像的景深通常较浅，但超景深显微系统仍可拍摄出立体效果。

快捷测量：超景深显微系统使用鼠标即可对标本的所有测量位置进行测量，例如：测量两点间的距离、角度、面积、X-Y 距离等；可根据所

需的数据选择不同的工具进行测量，并实时获得所测数据，大大提高测量效率；还可轻松简便地对指定范围内的目标物进行计数。

3　应用示例——烟粉虱形态研究

3.1　拍摄准备及开机

使用超景深显微系统拍摄时，需根据所观察的标本选择合适的镜头并进行安装。安装镜头时，首先应向下拉着镜头附件的卡爪，将镜头附件逆时针旋转直至与“o”对齐，拆下需更换的镜头。随后将选好的 C 卡口镜头上的“o”标记对准相机组件上的“o”标记，顺时针旋转，直到发出“喀嚓”声音，表示该组件已被成功固定。每个 C 卡口镜头的放大倍数均有一个范围，包括 20-200 和 100-1 000 倍不等，通过调节镜头上的变焦驱动进行倍数调节，且在拍摄时所用的镜头倍数要和显示器上的倍数保持一致。开机时，先把后面板的主电源开关从 Off 档位推到 On 档位，然后打开前面板的 Power（电源）按钮，使 LED（电源灯）亮起。拍摄前，建议先用低倍率调节焦距，再通过变焦驱动放大倍率观察。单击状态栏上的［Rec］（拍摄）按钮即可对标本进行拍摄保存。

3.2　生态图像拍摄

拍摄烟粉虱伪蛹的图像前，应选择叶片上形态完整、未羽化的伪蛹个体，如果伪蛹上附着有蜡丝，则需要提前用小毛刷轻轻刷掉。实际拍摄时，应首先使用低倍镜进行对焦，后用高倍镜观察，最后选用合适的放大倍数对伪蛹进行观察、拍摄和记录（图 2：A）。

拍摄烟粉虱成虫生态照时，需要先将成虫进行饥饿处理，或者放入 - 20 ℃的冰箱中冷冻 30 s，以确保成虫在拍摄过程中处于静止状态。拍摄时，先使用低倍镜进行对焦，然后移动载物台观察叶片上合适的成虫个体，最后选用合适的放大倍数对成虫进行观察记录（图 2：B）。如果光线太暗，可以通过调节遥控器上的 IOS 旋钮调节光线，或补充光源增加光照强度。

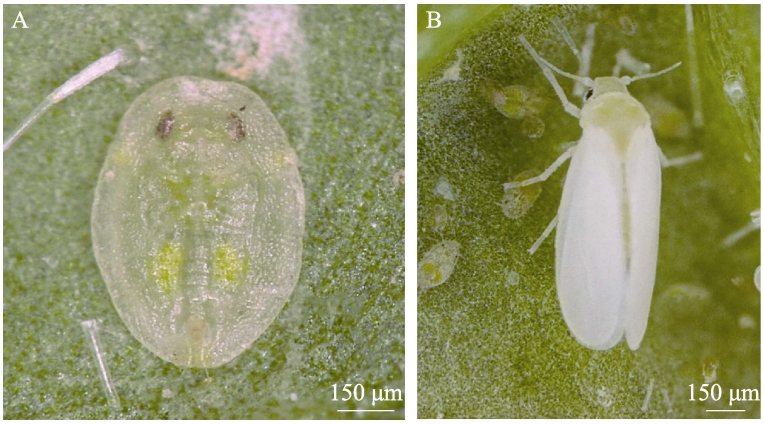


图 2　烟粉虱生态照

Fig. 2　Ecological photos of *Bemisia tabaci*

A. 伪蛹；B. 成虫。

A. Puparium; B. Adult.

3.3　分屏选择最佳图像

利用分屏选择功能，可在拍摄过程中快速准确地找到最佳的图像。首先，要预先调节好亮度、倍率和焦距。随后，按遥控器上的［Optimize］（最佳图像）按钮。最后，单击四种图像中最佳的图像，根据需要点击［Rec］拍摄保存。

3.4　测量

超景深测量工具在昆虫鉴定中常用于测量不同属、种以及雌雄之间的差异。首先，选择菜单栏上的［Main measurement·Area measurement］

（主要测量和面积测量）。打开［Measure tool］（测量工具）窗口和［Measure result］（测量结果）窗口。测量距离选择［Main］（主要）窗口，测量面积选择［Area］（面积）窗口。根据所需测量的数据，选择不同的测量工具进行测量。随后，单击状态栏上的［Rec］（拍摄）按钮，拍摄并保存到文件夹。测量完成后点击［Measure tool］上的［Exit］（结束）按钮关闭（图 3：A，B）。

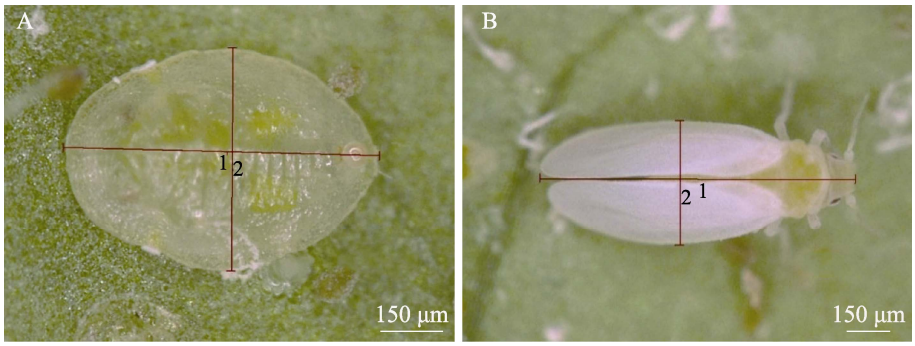


图 3　超景深测量工具在烟粉虱中的应用

Fig. 3　Application of ultra-depth measurement tools in *Bemisia tabaci*

A. 伪蛹长宽测量；B. 成虫长宽测量。

A. 1. 伪俑长测量；2. 伪俑宽测量；B. 1. 成虫长测量；2. 成虫宽测量。

A. Length and width measurement of puparium; B. Length and width measurement of adult.

A. 1. Length measurement of puparium; 2. Width measurement of puparium;

B. 1. Length measurement of adult; 2. Width measurement of adult.

3.5　超景深显微系统 3D 成像

使用超景深显微系统 3D 成像功能时，需先从菜单栏的［DepthUP］（深度 UP）中选择［Fine depth composition］（高画质深度合成），将焦点对准标本的最高处并单击［Capture］（捕捉）按钮；随后将焦点对准比最高处略低的部位并单击［Capture］（捕捉）按钮；重复该步骤直到焦点对准标本最低处；确认［Crrct position］（位置修正）复选框；单击［ExecComp］（执行合成）按钮；最后确认合成效果，单击 Save（Composite image）（保存（合成图像））按钮保存。如果结果不理想，则需重复以上操作（图 4：A-D）。

4　超景深显微系统操作注意事项

4.1　工作环境

超景深显微系统在实际应用中，往往会因为一些室内的微小震动和微风导致图片模糊。因此，其工作环境应尽量选择密闭、无大型仪器的室内，并且将显微镜放置在一个稳固的台面上，避免震动和晃动。

4.2　光源和镜头维护

超景深显微镜在使用时，如果光源不强，将无法观察到标本图像，或可导致观察的标本图像不清晰。此时，可以通过调节 IOS 或者增大光强，也可以更换光缆以达到拍摄所需的光源强度。超景深显微系统的镜头属于精密仪器，应避免镜头沾染灰尘，观察时避免镜头和标本触碰。当不使用时，应注意及时盖好镜头盖，以免划伤损坏镜头。更换镜头时，应注意轻拿轻放。更换下来的镜头要装好镜头盖，放置到镜头盒里，置阴凉干燥处。如果镜头被污染，要用特定的镜头纸擦拭。

4.3　标本的准备

获得清晰精准的图像，标本的准备至关重要。观察的标本处理要干净，尤其是玻片标本，确保标本没有气泡、污垢或其他杂质，以免干扰观察。如果使用染色剂，必须选择合适的染色方法，以确保染色程度适中。以粉虱伪蛹玻片标本为例，要经过碱液浸泡、透明处理、品红染色、乙醇梯度脱水和封片等步骤，确保标本洁净、染色均匀，方可获得清晰的图像（宋月芹等，2011；刘佳磊，2023）。

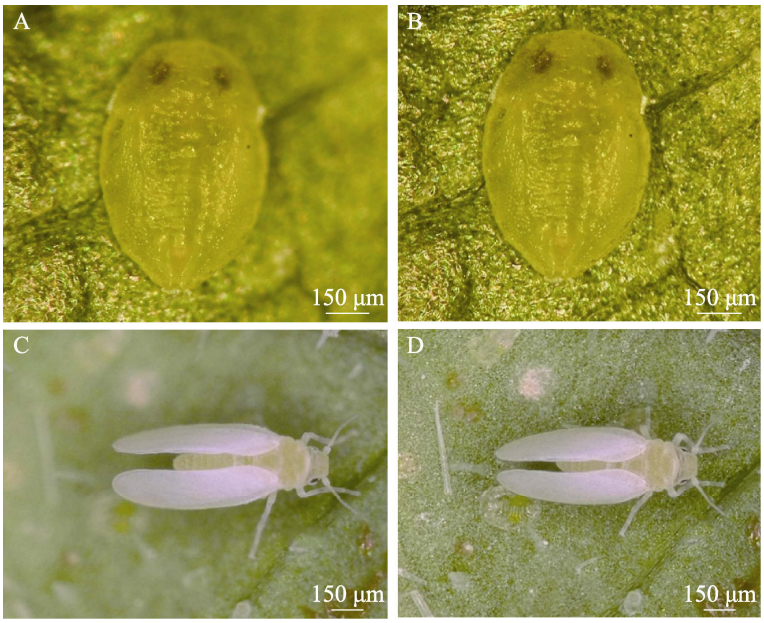


图 4　超景深显微系统 3D 成像功能在烟粉虱中的应用

Fig. 4　Application of 3D imaging function of ultra-depth microscopic system in *Bemisia tabaci*

A. 伪蛹普通拍摄；B. 伪蛹 3D 超景深合成；C. 成虫普通拍摄；D. 成虫 3D 超景深合成。
A. Puparium ordinary photograph; B. 3D ultra-depth of field synthesis of puparium;
C. Adult ordinary photograph; D, 3D ultra-depth of field synthesis of adult.

5　总结和展望

超景深显微系统已经在农业科学和生命科学等领域得到广泛应用，在昆虫的分类鉴定尤其是小体昆虫的形态鉴定上起到举足轻重的作用。在高倍镜条件下，可精准获取触角、复眼、口器、足、翅、腹节、生殖器等重要特征，使昆虫的形态鉴定更为方便、快捷、精准。超景深显微系统目前也存在一些问题，如在高倍率观察时光强较低，获取的图像亮度和清晰度不够；环境和工作台细微的震动会导致图像不清晰；超景深显微镜属于贵重精密仪器，需要专人维护等。

参考文献 (References)

Li TB, Zhang LL, Huang P, 2021. Application of 3D ultra-depth-of-field microphotography in insect species identification. *Science and Technology & Innovation*, 2021(1): 180–181. [李天宝, 张录璐, 黄萍, 2021. 3D 超景深显微摄影技术在昆虫种类鉴定中的应用. 科技与创新, 2021(1): 180–181.]

Lin KM, Huang H, Peng CD, Ding JC, Sun L, Zhang H, Xie ZM, 2020. Research and development of portable 3D microscope with super depth of field. *Guangdong Chemical Industry*, 47(2): 34–35, 37. [林凯明, 黄晖, 彭成淡, 丁俊才, 孙亮, 张红, 谢志敏, 2020. 便携式超景深 3D 显微镜的研究与开发. 广东化工, 47(2): 34–35, 37.]

Liu JL, 2023. Morphological taxonomy of whiteflies from China (Hemiptera: Aleyrodidae). Master dissertation. Zhengzhou: Henan Agricultural University. [刘佳磊, 2023. 中国粉虱科形态分类研究(半翅目). 硕士学位论文. 郑州: 河南农业大学.]

Song YQ, Zhang RM, Dong JF, 2011. Study on specimen production technology of whitefly pseudopupa. *Hubei Agricultural Sciences*, 50(21): 4389–4391. [宋月芹, 张瑞敏, 董钧锋, 2011. 粉虱伪蛹玻片标本制作技术. 湖北农业科学, 50(21): 4389–4391.]

Teng ZY, 2022. Application status and prospect of super depth-of-field optical microscope system in the field of relics and museology. *Sci-tech Innovation and Productivity*, 2022(2): 125–127. [滕昭玉, 2022. 超景深光学显微系统在文博领域的应用现状和展望. 科技创新与生产力, 2022(2): 125–127.]

Wang LZ, Shi JW, 2012. Application of extended depth-of-field 3D microscopy system in seal impression examination. *Journal of Xinjiang Police Officers Academy*, 32(2): 24–26. [王连昭, 史继伟, 2012. 超景深三维显微系统在印章印文检验中的应用. 新疆警官高等专科学校学报, 32(2): 24–26.]

Zhang WG, Lin J, Yang GL, Kong LG, 2018. Application of super depth of field micro photography in experimental teaching of entomology. *China Modern Educational Equipment*, 2018(1): 5–7. [张卫光, 林琎, 杨广玲, 孔令广, 2018. 昆虫学实验教学中超景深显微摄影技术的应用. 中国现代教育装备, 2018(1): 5–7.]

Zhang WG, Yang GL, Zhao CQ, Dong H, 2013. Application of plant pathogenic microorganisms photomicrography technology in experimental teaching. *Experiment Science and Technology*, 11(6): 27–29. [张卫光, 杨广玲, 赵春青, 董会, 2013. 实验教学中植物病原微生物显微摄影技术的应用. 实验科学与技术, 11(6): 27–29.]