

昆虫嗅觉神经的计算机三维重建*

付丙鲜^{1,2} 祝增荣^{1,2**}

(1. 浙江大学昆虫科学研究所 杭州 310029; 2. 水稻生物学国家重点实验室 杭州 310029)

Computerized three dimensional reconstruction of the insect olfactory nerves. FU Bing-Xian^{1,2}, ZHU Zeng-Rong^{1,2**} (1. *Institute of Insect Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China*; 2. *State Key Laboratory of Rice Biology, Hangzhou 310029, China*)

Abstract Based on laser scanning confocal microscope (LSCM), the computerized three-dimensional (3-D) reconstructions of the insect olfactory nerves have been applied in the insects of Orders Diptera, Lepidoptera, Hymenoptera and Blattaria. The nervous tissues labeled by fluorescence can be optically sectioned by LSCM, and a serial of the optical sections can be used for 3-D reconstruction. The map of antennal lobe, as the primary olfactory center of insects, is a prerequisite for comparison of the glomerular function among species and between male and female of conspecifics. The morphology and spatial relationship of the principal neurons forming the olfactory pathways are essential for understanding the encoding procedure of odor information in the central nervous system. The insect olfactory nerves' 3-D reconstruction is of significance in exploring the role of insect olfaction in host selection, food finding and partner connection.

Key words insect olfactory nerve, antennal lobe, laser scanning confocal microscope, optical section, three-dimensional reconstruction

摘 要 基于激光扫描共聚焦显微镜平台的计算机三维重建在昆虫嗅觉神经研究中发挥了重要作用。对经荧光标记的神经组织采集系列光学切片并进行三维重建,在双翅目、鳞翅目、膜翅目、蜚蠊目昆虫中均有进展。触角叶是昆虫的初级嗅觉中心,触角叶的解剖学图谱是识别不同种和雌雄虫间嗅球体特定功能的先决条件。了解构成嗅觉传输途径的主要神经元的形态和空间关系是理解气味信息在中枢神经系统编码的基础。三维重建昆虫的嗅觉神经,对于探讨昆虫嗅觉在其寄主选择、觅食以及寻找配偶等行为中的作用具有非常重要的意义。

关键词 昆虫嗅觉神经,触角叶,激光扫描共聚焦显微镜,光学切片,三维重建

计算机三维重建 (Computerized three dimensional reconstruction), 是运用计算机图形学和数字图像处理技术, 将所得的断层二维图像序列在计算机中重建成三维图像数据, 并在屏幕上形象逼真地显示出所研究对象立体视图的一门技术; 通过人机交互, 可以方便地对重建图像进行旋转、切割、缩放、逐层剥离等各种拟真的操作, 并可定量分析, 从而使人们能够更充分地理解重构物体的三维结构关系^[1~3]。三维重建的主要方法包括面绘制和体绘制:^[4,5] 体绘制通过体光线跟踪软件依靠计算机自动完成, 无

需构造中间曲面, 体素细节信息的保留使得结果的保真性大为提高, 用户可自由旋转体绘制模型从各个角度进行观察, 体绘制的图像质量通常优于面绘制, 但是体绘制对计算机的损耗较高; 面绘制主要通过图像分割及构造中间曲

* 国家重点基础研究发展规划“973”计划项目 (2002CB111400)、863 计划 (2007AA 10Z200)、浙江省重点科技攻关项目 (2006C22023)。

** 通讯作者, E-mail: zrzhu@zju.edu.cn

收稿日期: 2007-10-13, 修回日期: 2007-12-17

面两大步来完成,分割过程常会造成三维数据场中许多细节信息的丢失,从而降低结果的保真性,但在目前的硬件平台上,面绘制的交互性能和算法效率优于体绘制,同时面绘制为重建模型增加了新的功能,如面绘制模型可用以定量分析和虚拟剖切等。目前大量的三维重建工作都是通过面绘制来完成的,而体投射图像往往会作为面绘制的参考。

用玻璃刀或钻石刀对生物样本进行物理切片,或通过更加高端的技术直接对生物材料进行光学切片(optical section),以绘图、物理形式或通过计算机虚拟现实技术,重新构造成纸面的、实体的或计算机模拟的三维模型,以使人们易于理解复杂结构中各部分间的空间联系,是解剖学中非常重要的研究手段。计算机在20世纪六七十年代进入解剖学造型领域,随着计算机的不断发展和解剖学手段的更新,使得三维建模尤其在神经生物学领域得到了首次广泛的应用^[4]。1980年代推出并处于不断更新进步中的激光扫描共聚焦显微镜(laser scanning confocal microscope, LSCM)^[6],以光学为基础—融机械、电子、计算机为一体^[7],其高空间分辨率、非介入无损连续光学切片、三维成像功能^[6],为三维重建昆虫神经提供了良好的平台。LSCM具有获得透明、发荧光样本的清晰光学切片的能力,它主要依靠荧光分子(fluorescent molecules)获得信号,在细胞生物学、发育生物学、神经科学等领域中有着广泛的应用。随着LSCM在生物学中的应用,一系列对组织结构进行荧光标记的染色技术发展成熟,包括钴回填神经元染色技术^[8]、免疫荧光染色(immunofluorescence labeling)、显微注射(microinjection)、表达绿色荧光蛋白(green fluorescent protein, GFP)等一些与自发荧光报道分子绑定在一起的蛋白等^[9]。通过LSCM的薄层光学切片功能,可获得标本真正意义上的三维数据,经计算机图像处理及三维重建软件,如Amira(<http://www.amiravis.com/>),Imaris(<http://www.bitplane.com/>),VoxBlast(<http://www.vaytek.com/voxblast.html>)等,可产生生动逼真的

三维效果,从而能灵活、直观地进行形态学观察,并揭示亚细胞结构的时空关系。1990年代以来,LSCM在昆虫神经生物学的研究中发挥了重要作用,以下将着重对昆虫嗅觉神经(insect olfactory nerves)三维重建的研究进展作一介绍。

1 双翅目昆虫

1990年,Stocker将荧光黄回填追踪标记的黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* 对侧触角叶(antennal lobe, AL)4 μm 厚的横向树脂切片(与氯化钴、辣根过氧化酶由第三触角节进行回填追踪及大脑高尔基染色和银染色结果相比,显示了嗅球体的最理想清晰度,尤其是对侧嗅球体)在落射荧光显微镜(epifluorescence microscope, EP)下采集显微图像,并在数字化板上将显微照片中感兴趣的触角叶及嗅球体(glomeruli)轮廓提取出来、进行标记,最后输入重建程序^[10]。重建的黑腹果蝇触角叶35个嗅球体可以立体图(stereo-plots)或隐线图(hidden-line plots)的方式进行显示,较之其在1983年^[11]鉴定的黑腹果蝇触角叶的19个嗅球体又新发现了16个,并且明确了其大致位置:有30个嗅球体位于触角叶的外围,其余5个处于触角叶的中心,从而为其嗅球体组织提供了更为完善的视觉观察。另外,通过雌雄虫间的对比得出:触角叶嗅球体的数量、位置、大小、形状没有明显的性二型性(sexual dimorphism)。三维重建的触角叶图谱,结合其它解剖学证据,为触角叶中的感觉信息输入不仅是形态学图谱而更是功能学图谱的假设提供了有力证据,并结合以往研究的实验证据将果蝇的触角叶嗅球体分为了三个功能类型。

基于LSCM平台对果蝇触角叶进行计算机三维重建的报道不断涌现,果蝇触角叶图谱也随之被不断刷新,有关果蝇触角叶的组织结构逐渐被深入了解。经神经髓(neuropil)的特异性单克隆抗体nc82、抗突触结合蛋白抗体(anti-synaptotagmin)对黑腹果蝇触角叶进行荧光标记,重建显示的嗅球体数量分别是43、51^[12,13]。

而由气味受体(odorant receptor, Or)转基因的报道品系(Or transgenic reporter lines)所产生的分子标记物对单个嗅球体(glomerulus)进行标记的研究结果对已有图谱又有所改进,建立了一个具有49个嗅球体的果蝇触角叶的新图谱^[14]。Laissue等的研究确认黑腹果蝇雌雄虫触角叶嗅球体模式及用nc82首次在果蝇中成功分辨出的6个嗅球体房室(compartments)的模式没有明显的两性异形现象^[12],这与Stocker等^[10]的研究结果不谋而合。然而对夏威夷果蝇(Hawaiian *Drosophila*)37个种的触角叶三维重建的结果却显示有6个种的DA1和DL3嗅球体具有雄性扩大现象,并由此结合分类学知识,分析了夏威夷果蝇嗅觉大脑性别二型性的系统进化;作为比较,试验同时对黑腹果蝇的触角进行了重建,结果证明黑腹果蝇的DA1嗅球体亦具有雄性扩大现象,这一发现为大脑性别二态性的遗传解剖建立了模式系统^[13]。由分子标记重建的具有49个嗅球体的果蝇触角叶新图谱,通过气味受体(Or)的表达及经分子标记的嗅觉受体神经元(olfactory receptor neurons, ORNs)轴突(axons)在触角叶中的分布,证实了“一个嗅觉受体神经元只表达一种受体蛋白,一个嗅球体只接收来自于一类嗅觉受体神经元的传入信息”的非结论性原则^[14]。用anti-DLG抗体标记果蝇3龄幼虫大脑,三维重建了其大脑右半球神经组织及蕈体冠(mushroom body calyx)嗅球体图谱,并通过进一步分子标记对蕈体冠进行分析,明确了二级指令神经元即触角叶的投射神经元(projection neurons, PNs)与三级指令神经元即凯尼恩细胞(Kenyon cells, KCs)对蕈体冠嗅球体的操纵模式(patterns),即投射神经元向蕈体冠嗅球体的投射模式是立体典型(stereotypic)的,而大多数凯尼恩细胞树突在蕈体冠嗅球体中的投射模式是随机的^[15](封3彩版×:1)。采用单克隆抗体nc82染色并行神经生物素(neurobiotin)回填示踪对冈比亚按蚊(*Anopheles gambiae*)触角叶进行三维重建,揭示了由嗅球体数量(雌、雄分别为60、61)、触角叶及单个嗅球体的大小、嗅球体阵列所表现出的

性别二态性^[16](封3彩版×:2)。

2 鳞翅目昆虫

基于突触抗体染色建立了烟夜蛾的2个种—亚洲的寡食性烟夜蛾(Oriental) *Helicoverpa assulta* 雄虫以及美洲的烟芽夜蛾(American) *Heliothis virescens* 雌、雄虫触角叶的数字图谱^[17]。这3个样本的嗅球体数量非常相似,分别为65、62、66,2个种的雄性触角叶都具有由3~4个嗅觉球结构单元组成的复合体,美洲的烟芽夜蛾雌虫触角叶在触角神经(antennal nerve)入口处有2个扩大的嗅球体,而另1个位于触角叶腹面的大型嗅觉球则显示了这3个样本的同源性(homology)。同样方法对多食性的棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 雌、雄虫和寡食性烟夜蛾雌虫的触角叶进行三维重建,结果显示 *H. armigera* 的雌、雄虫有65个嗅球体,而烟夜蛾 *H. assulta* 的雌虫有66个嗅球体^[18]。综合这2项研究,这3个种雌雄虫的嗅球体数量分别是: *H. armigera* male/female 65/65, *H. assulta* male/female 65/66, *H. virescens* male/female 66/62;大量的普通嗅球体被认为是恒定不变的: *H. armigera* 62/62, *H. assulta* 62/62, *H. virescens* 62/60;而少数的性别特异嗅球体在种间有所变化: *H. armigera* male/female 3/3, *H. assulta* male/female 3/4, *H. virescens* male/female 4/2。抗体标记和三维重建烟草天蛾 *Manduca sexta* 的触角叶,发现其触角叶除3个性别特异的嗅球体外,还具有59~66个不同形状 of 普通嗅球体;通过对处于不同发育历期的明确鉴定的嗅球体的大小、形状及位置进行分析,研究了其神经发育机制^[19]。通过显微注射荧光染料,对荷兰石竹小卷蛾 *Lobesia botrana* 雌雄虫触角叶进行三维重建,并通过其触角叶的局部重建,确认了生理学上分类的14个投射神经元(PNs)各自的嗅球体及其在嗅觉球内的树突分布^[20]。用细胞内标记、右旋糖苷荧光标记物注射触角叶、及神经髓免疫染色,三维重建了绿棉铃虫大脑的主要神经结构,包括4个大脑触角脑束(antennocerebral tracts, ACTs)和8种形态类型的

PNs, 对触角叶和前脑 (protocerebrum) 之间的神经联结形态进行了解剖学描述^[21]。此外, 通过荧光黄微电极注射, 对家蚕 *Bombyx mori* 雄蛾触角叶大量嗅球体复合体 (macroglomerular complex, MGC) 三维重建的结果显示: 家蚕触角叶的 MGC 是由积云状、圆环状及马蹄状的 3 个亚结构单元组成, 证明了 MGC 区的 37 个投射神经元是通过 3 种不同的大脑触角脑束向更高级的嗅觉中心传输信息, 并结合电生理技术 (EAG), 验证了不同的 PNs 对蛾蚕醇 (bombykol) 和蚕蛾醛 (bombykal) 2 种主要的雌信息素的反应^[22]。

3 膜翅目昆虫

用神经生物素对触角神经轴突进行追踪并最终由 Cy3 来显现, 三维重建了意大利蜂 *Apis mellifera* 工蜂的触角叶数字图谱^[23]。生物素追踪及经连接了 FluoroLinkCy2 的亲合素 (avidin) 处理, 对菜粉蝶盘绒茧蜂 *Cotesia glomerata*、微红绒茧蜂 *Cotesia rubecula* 触角叶的三维重建结果显示: 其触角受体神经元的传入神经汇集成两个触角神经束, 并在它们进入触角叶的入口前面融合, 触角神经由前面进入神经髓, 穿过触角叶的中心, 操纵着所有的嗅觉球, 每一个神经束又分成 2 个主要的感觉束 (tracts) 及一些小的感觉束, 支配处于不同方位的嗅球体; 这 2 个种的嗅球体的大小、形状、位置在几个特定的地方都有变化^[24]。神经示踪和荧光染色三维重建了意大利蜂卡尼鄂拉蜂亚种 *Apis mellifera carnica* 工蜂触角叶嗅球体图谱和其毛形感器内嗅觉受体神经元操纵触角叶嗅觉球的 4 个感觉束, 基于此研究了毛形感器内多样的 ORNs 在触角叶内的轴突投射, 结果为: 1 个 ORN 只操纵 1 个嗅觉球, 每个毛型感器内有 7~23 个 ORNs, 而这些 ORNs 均投射到不同的嗅觉球内^[25]。基于荧光追踪和免疫组织化学技术, 三维重建了意大利蜂卡尼鄂拉蜂亚种工蜂触角叶嗅球体及其主要的信息输入、输出神经, 包括进入触角叶的触角感觉神经束 (T1-4), 并确认了由单一投射神经元 (uniglomerular projection neurons, (u)PNs) 所

形成的 2 个主要的 ACTs 分别在更高级的嗅觉中心——蕈体 (mushroom body, MB) 和前脑侧角 (lateral horn, LH) 中的投射, 而多投射神经元 (multiglomerular, PNs) 则主要终止于 LH 和侧前脑 (lateral protocerebrum) 的 3 个嗅觉焦点区^[26]。

4 蜚蠊目昆虫

采用消化酶和微波协助固定染色, 对 500 多 μm 厚的完整的太平洋折翅蠊 *Diploptera punctata* 大脑组织进行细胞膜、细胞核荧光双标, 对其大脑中枢以及神经髓区域进行三维重建, 绘制了蟑螂大脑的完整图谱^[27]。实验得出: 每一个大脑半球具有 230 000 个 KCs, 99 个触角叶嗅球体以及 40 个球叶嗅球体 (lobus glomerulatus glomeruli), 嗅球体隔间融合成 8 个不同的渠道。这是第一张对厚达 500 多 μm 的完整的动物大脑进行亚微染色所得的 3D 图谱。

5 小结及展望

从断层图像的获得而言, 计算机三维重建可分为两大类: 一类是生物组织连续物理切片的计算机三维重建, 这种重建方法需要根据不同的生物材料选择相适宜的组织学技术, 对生物样本进行包埋切片, 适于基础研究; 另一类是建立在数字化 (digital) 基础上的计算机三维重建, 如应用在基础研究中的 LSCM 对生物样本的光学断层及三维重建, 以及基于计算机断层扫描 (computerized tomography, CT)、核磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI)、超声波扫描 (ultrasonography, US) 和激光扫描 (laser scanning, LS) 等医学临床上常用的三维重建技术。

以上所述的昆虫嗅觉神经的计算机三维重建, 主要是基于 LSCM 数字化平台所进行的。LSCM 不仅能够获得高分辨率、高质量的光学断层图像, 而且免去了对样本进行物理切片及其相应切片进行校准的繁杂工序。除应用于神经科学, LSCM 在昆虫形态学研究中也发挥了重要作用。节肢动物的外骨骼中含有的某些

成分如喋啶、节肢弹性蛋白——具有自发荧光的特性^[28],这些自发荧光物质很容易被紫外光或可见光激发^[29],这一特性为利用 LSCM 进行昆虫外形研究提供了很大便利。目前,已成功利用表皮物质自发荧光重建了美洲大蠊 *Periplaneta americana* 和度比亚蟑螂 *Blaberus discoidalis* 足的内外表面^[30]及环跗库蚊 *Culex tarsalis* 和黑腹果蝇的雄外生殖器^[29],并成功地重建了经 PI/EB 染色的、完整的蚊子幼虫的整体外形及其内部结构^[31]。当然 LSCM 的应用也存在一定的局限,目前 LSCM 的理论最大有效解析厚度有限,因此对试验材料的规格有一定要求,对过厚样品尚需进行适当切割;此外, LSCM 经过不断的更新发展,虽已提高了分辨率,但其分辨率还不及电镜,尝试精细细胞的三维重建仍要用到电镜技术。此外,核磁共振显微技术(magnetic resonance microscope, MRM)的发展使得 MRI 已应用于许多(活体)昆虫的研究^[32~34],虽然只能观察到主要的大脑神经元件,但这已经使得昆虫解剖学研究提升到了一个新的台阶,我们乐观地期待:随着 MRI 及其它非破坏性断层数据采集方法精度的不断提高, MRI 及其它医学临床上常用的三维重建技术会在昆虫学研究中发挥进一步的作用。

基于 LSCM 平台所进行的昆虫嗅觉神经的三维重建,目前已涉及双翅目、鳞翅目、膜翅目以及蜚蠊目昆虫,但有关同翅目昆虫这方面的研究尚未见报道。作者目前正在研究的水稻重要吸汁类害虫——灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fall n),计划在研究其触角感觉器形态结构的基础上,进一步对其嗅觉神经作共聚焦分析,建立灰飞虱嗅觉神经的三维图谱数集库。

计算机三维模型最初被用作教学工具,而今它更大作用的发挥远不止于此。器官、细胞及亚细胞结构的数字化模型已经成为生物学和医学研究中的重要工具。计算机三维模型可作为电子数集库来鉴别复杂结构中的特定元件,及对复杂构造的二维剖面中依然模糊不清的各构成部分间的关系进行分析;同时,它还作为存储和显示基因表达模式提供了契机,从而为建立

基因表达数据库奠定基础^[4]。

参 考 文 献

- 1 张玮,李杉,戴若兰. 生物医学工程学杂志, 1999, **16**(3): 377~ 381.
- 2 赵云松,张艳玲. 安阳师范学院学报, 2006, (2): 62~ 64
- 3 陈合新,钟世镇,许庚. 中国临床解剖学杂志, 2000, **18**(4): 379~ 380
- 4 Pereanu W., Hartenstein V. *Curr. Opin. Genet. Dev.*, 2004, **14**(4): 382~ 391.
- 5 张季,王宜杰. 医学信息, 2006, **19**(5): 948~ 950
- 6 许险峰,徐锡金,霍霞. 激光生物学报, 2003, **12**(2): 156~ 159
- 7 刘继红,汪成楚. 实验技术与管理, 2006, **23**(1): 86~ 87.
- 8 王琛柱. 昆虫知识, 2003, **40**(1): 88~ 89.
- 9 Paddock S.W. *Methals Mol. Biol.*, 1999, **122**: 1~ 34.
- 10 Stocker R. F., Lienhard M. C., Borst A., Fischbach K. F. *Cell Tissue Res.*, 1990, **262**: 9~ 34
- 11 Stocker R. F., Singh R. N., Shorderet M., Siddiqi O. *Cell Tissue Res.*, 1983, **232**: 237~ 248.
- 12 Laissue P. P., Reiter C., Hiesinger P. R., et al. *J. Comp. Neurol.*, 1999, **405**: 543~ 522
- 13 Kondoh Y., Kaneshiro K. Y., Kimura K., Yamamoto D. *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 2003, **270**: 1 005~ 1 013.
- 14 Couto A., Alenius M., Dickson B. J. *Curr. Biol.*, 2005, **15**: 1 535~ 1 547.
- 15 Masuda Nakagawa L. M., Tanaka N. K., O Kane C. J. *Pro. Natl. Acad. Sci. USA.*, 2005, **102**(52): 19 027~ 19 032.
- 16 Ghaninia M., Hanson B. S., Ignell R. *Arthrop. Struct. Dev.*, 2007, **36**: 23~ 39.
- 17 Berg B. G., Galizia C. G., Brandt R., Mustaparta H. *J. Comp. Neurol.*, 2002, **446**: 123~ 134
- 18 Skiri H. T., Ro H., Berg B. G., Mustaparta H. *J. Comp. Neurol.*, 2005, **491**: 367~ 380
- 19 Huetteroth W., Schachtner J., *Cell Tissue Res.*, 2005, **319**: 513~ 524.
- 20 Masante-Roca L., Gaderne C., Anton S. *J. Exp. Biol.*, 2005, **208**: 1 147~ 1 159
- 21 Ro H., M Iler D., Mustaparta H., *J. Comp. Neurol.*, 2007, **500**: 658~ 675
- 22 Kanzaki R., Soo K., Seki Y., Wada S. *Chem. Senses*, 2003, **28**: 113~ 130.
- 23 Galizia C. G., McIlwraith S. L., Menzel R. *Cell Tissue Res.*, 1999, **295**: 383~ 394
- 24 Smid H. M., Bleeker M. A. K., van Loon J. J. A., Vet L. E. M. *Cell Tissue Res.*, 2003, **312**: 237~ 248.
- 25 Kelber C., Ressler W., Kleindeid C. J. *J. Comp. Neurol.*,

2006, **49**: 395~ 405.

26 Kleineidam S., Kleineidam C.J., Zube C., *et al.* *W. J. Comp. Neurol.*, 2006, **499**: 933~ 952.

27 Chiang A.S., Liu Y.C., Chiu S.L., Hu S.H., Huang C.Y. *et al.* *Comp. Neurol.*, 2001, **440**: 1~ 11.

28 Klaus, A. V., Schawaroch V. *Integr. Comp. Biol.*, 2006, **46**: 207~ 214.

29 Klaus A. V., Kulasekera V. L., and Schawaroch V. J. *Microsc.*, 2003, **212**: 107~ 121.

30 Zill S., Frazier S.F., Neef D., *et al.* *Res. Tech.*, 2000, **48**: 367~ 384.

31 Zucker R.M. *Cytometry A.*, 2006, **69**(11): 1 143~ 1 152.

32 Hart A. G., Bowtell R. W., Kockenberger W., *et al.* *J. Insect Sci.*, 2003, **3**(5): 1~ 9.

33 Michaelis T., Watanabe T., Natt O., *et al.* *Neuroimage*, 2005, **24**(2): 596~ 602

34 Jasanoff A., Sun P.Z. *J. Magn. Reson.*, 2002, **158**(1-2): 79~ 85.

黄曲条跳甲室内饲养方法的改进*

王 海^{1,2} 傅建伟^{1**} 李建宇¹ 赵士熙²

(1. 福建省农业科学院植保所 福州 350013; 2. 福建农林大学植物保护学院 福州 350002)

A modified method for rearing striped flea beetle (SFB), *Phyllotreta striolata*. WANG Hai^{1,2}, FU Jian-Wei^{1**}, LI Jian-Yu¹, ZHAO Shi-Xi² (1. *Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences*, Fuzhou 350013, China; 2. *College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University*, Fuzhou 350002, China)

Abstract An improved method of rearing striped flea beetle (SFB), *Phyllotreta striolata* (Fabricius), was introduced. Adults of SFB were reared with a cage divided into two parts, and larvae were reared in the concave of the radish, *Raphanus sativus* L. The result showed that the higher survival rates of egg, larvae and pupae were achieved. Survival rates of egg, larvae and pupae were 89.3%, 65.0% ~ 70.0% and 80.0%, respectively. It was an effective rearing methods of SFB in the laboratory.

Key words *Phyllotreta striolata*, rearing method, survival rate

摘 要 介绍一种饲养黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata*(Fabricius)的改进新方法,采用分隔式养虫笼饲养成虫和萝卜“凹”型孔饲养幼虫,结果表明,使用该方法进行饲养,卵的成活率可达89.3%,1~3龄幼虫的存活率为65.0%~70.0%,蛹的存活率达80.0%,可以有效实现黄曲条跳甲的室内饲养。
关键词 黄曲条跳甲, 饲养方法, 存活率

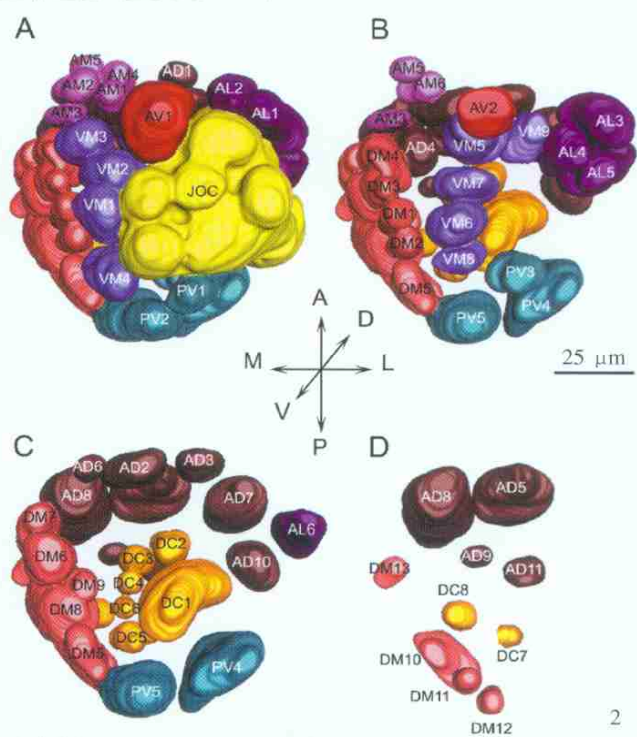
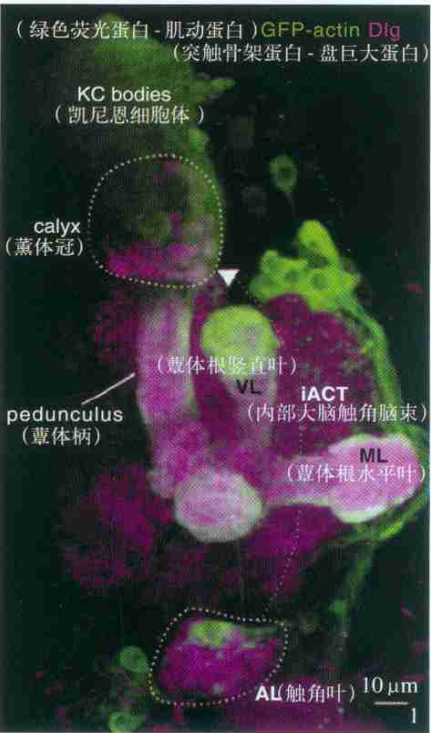
黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata* (Fabricius) 是十字花科蔬菜的一种世界性害虫^[1],近年来,广东某些地区黄曲条跳甲已取代小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 而上升为十字花科蔬菜的头号害虫^[2],该虫在福建省的发生为害也已经成为春夏季和秋季十字花科蔬菜的最主要害虫,为害程度已超过其他害虫^[3],并且杀虫剂在黄曲条跳甲化学防除中的应用已经使该虫产生了很强的抗药性^[4]。由于黄曲条跳甲成虫生活在植物上部,主要取食寄主植物叶片、嫩茎和表皮组织,幼虫生活在土中,取食寄主根部表皮层,卵多散产或成小堆状产于寄主植物细根上

或根部附近的湿润土隙中,给该虫生物学生态学的研究造成很大的困难。

刘芸等曾报道黄曲条跳甲的一种饲养方法,利用寄主植物的成株苗进行整苗大瓶罩养,该方法能够完成黄曲条跳甲的生活史^[5],该方法使用的器具较多,操作步骤费时,过程较为复杂。张茂新等采用养虫筒饲养成虫,在底部铺一层细沙土,筒内插1株小苗(2~3片真叶),每日更换新鲜食料,让成虫产卵,卵用分离装置

* 福建省自然科学基金项目(B0610025)。
** 通讯作者, E-mail: Fjw9238@yahoo.com.cn

图版VII 付丙鲜等：昆虫嗅觉神经的计算机三维重建（正文见 P668）



1. 果蝇幼虫大脑右半球一部分的三维模型前面观 (引自 Masuda-Nakagawa^[15])
2. 冈比亚按蚊雌虫触角叶三维模型 (引自 Ghaninia^[16]) A: 前面 P: 后面 L: 侧面 M: 中央 V: 腹面 D: 背面 A~D. 腹面的嗅球体被依次从完整的嗅球体模型移去, 以使处于背侧的嗅球体充分暴露。图中确认的嗅球体一共有 60 个。JOC: 江氏器中心。

图版VIII 朱宏斌等：进口巴布亚新几内亚原木上截获吉丁虫的鉴定（正文见 P647）

