技术与方法

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 offactory 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 cospecies. 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, threedimensional 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 象进行旋转、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. en

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、非介入无损伤连续光学切片、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/yoxblast.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空间关系。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 Drosaphila melanogaster 对侧触角叶 (antennal lobe, AL)4 4m 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(hiddenline 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(antisynaptotagmin) 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 嗅觉球亦具有雄性 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(mashroom 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) 对薰体冠 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 (Anapheles 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 个不同形状的普通 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^[2]。 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^[2]。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(bombykal) 和蚕蛾醛(bombykal) 2 种主要的雌信息素的反 应^[2]。

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 Cv3 来显现。三维重建了意大利蜂 Apis mellfera 工蜂的触角叶数字图谱^[23]。生物素追 踪及经连接了 FluoroLinkCy2 的亲和素(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 干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 (uniglemerular 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, IH)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^[25]。

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 glomuruli),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 对其相应切片进行校对的繁杂工序。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^[2~34],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 Pere anu 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. Methods Mol. Biol., 1999, 122: 1~ 34.
- Stocker R. F., Lienhard M. C., Borst A., Fischbach K. F. Coll Tissue Res., 1990, 262: 9~ 34
- 11 Stocker R. F., Singh R. N., Schorderet 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: 1005~ 1013.
- 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., Hansson 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
- Huetteroth W., Schachtner J., Cell Tissue Res., 2005, 319: 513~ 524.
- 20 Masante-Roca I., Gadenne C., Anton S. J. Exp. Biol., 2005, 208: 1147~ 1 159
- 21 Ro H., M ller D., Mustaparta H., J. Comp. Neurol., 2007, 500: 658~ 675
- Kanzaki R., Soo K., Seki Y., Wada S. Chem. Senses, 2003,
 28: 113~ 130.
- 23 Galizia C. G., McIlwrath 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.

显示基因表达模式提供了契机,从而为建立。 1994-2013 China Academic Numar Electronic Publishing 1. Net seler With Kleineidam C. J. J. Comp., Neurol. 2006, **496**: 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.

- 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} 傅建炜^{***} 李建宇¹ 赵七熙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, *Rap hanus sativus* L. The result showed that the higher 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 laboratoray.

Key words Phyllotreta stridata, rearing method, survival rate

摘 要 介绍一种饲养黄曲条跳甲 *Phyllotreta striol at a*(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

「今日約4-2013 China Academic Journal 把Ectronic P版稿目期:2016-06-06. 修回日期:2018-08-08-04. http://www.cnk

^{*} 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Ghaninia¹¹⁶) 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)



© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk