

图像自动识别技术在胶州湾浮游动物生态学中的应用*

孙晓霞¹ 孙松^{1,2} 王世伟¹ 刘梦坛¹ 赵永芳¹

(1. 山东胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站 青岛 266071;

2. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071)

提要 结合 Zooscan 扫描技术与 ZooProcess 分析与图像自动识别方法,进行了胶州湾浮游动物图像自动识别的研究。通过对胶州湾 2009 年浮游动物样品进行标准化扫描,随机选取不同类群的浮游动物图像,建立胶州湾浮游动物图像培训数据库并进行性能验证,表明对胶州湾绝大部分类群,图像识别的准确率可以达到 80% 以上,且误判率低于 20%。对于毛颚类、桡足类、夜光虫、磷虾等的识别准确率可以高达 90% 以上。进一步将图像自动识别结果与人工分类的结果进行比较,发现对于胶州湾 5 个主要的优势类群,两种方法之间存在极其显著的相关性,尤其是桡足类和毛颚类, R^2 值分别可达到 0.96 和 0.75。在此基础上,进一步分析该图像识别方法在胶州湾浮游动物体积变动、粒级组成中的应用,为利用图像手段进行胶州湾浮游动物生态学及长期变化的研究奠定基础。

关键词 浮游动物, 图像, 自动识别, 胶州湾
中图分类号 Q958.885.3

浮游动物是海洋生态系统中一个非常重要的类群,是海洋生物生产过程的核心之一,是海洋食物网的基础和海洋生物地球化学循环的关键环节。浮游动物的种类组成和数量变动会引起整个海洋生态系统的变动(王倩等, 2010; 李强等, 2010)。在当前一些重大的国际研究计划中,如“全球海洋生态系统动力学研究计划(GLOBEC)”、“海洋生物地球化学与海洋生态系统集成研究计划(IMBER)”、国际海洋生物普查计划(CoML)等,都把浮游动物的研究作为重要内容。因此,浮游动物的研究已经成为当前海洋生态系统研究的核心和热点问题之一,也是海洋生态系统观测的主要内容。

在海洋浮游动物生态学的研究中,利用网具进行浮游动物样品的采集仍是当前主要的浮游动物采样方式,也是许多长时间序列研究和海洋研究计划的基础,如 GLOBEC 计划等。由于海洋浮游动物样

品采集的速度远远超过样品分析的速度,导致大量的浮游动物样品堆积在实验室中来不及分析,数据的获取严重滞后,这也是全球浮游动物生态学研究共同面临的问题。此外,干燥、保存不当、灾难性事件的发生等情况经常会损坏浮游动物样品,因此样品分析上的长期滞后极有可能导致样品在进行镜检、计数、测量和鉴定之前就蒙受损失,这对于生态学和分类学研究是一个很大的风险。在当前浮游动物分类学专业人员极端缺乏的现状下,如何实现浮游动物样品的快速分析和识别是制约浮游动物生态学发展的瓶颈问题之一(Culverhouse *et al.*, 2003)。

为解决上述问题,利用图像自动识别技术进行浮游生物样品的识别近年来得到迅速的发展。2005 年 11 月在西班牙举行的 GLOBEC/SPACC 研讨会上,与会专家认为合作开发浮游生物自动识别技术已成为当务之急,会议上形成了 RAPID (Research on

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目群项目, KZCX2-YW-Q07-01 号; 国家“973”项目, 2011CB403603 号; 国家自然科学基金项目, 40876083 号, 40631008 号; 国家“973”项目, 2006CB400606 号; 国家海洋局公益项目, 200805042 号。孙晓霞, 博士, 研究员, E-mail: xsun@qdio.ac.cn

收稿日期: 2011-01-21, 收修改稿日期: 2011-06-26

automated plankton identification)工作组,并提议该组织的工作重点聚焦于浮游生物的自动识别。2007年5月在日本广岛举行的第4届国际浮游动物大会设立了一个专门会议“成像技术进展及图像分析在浮游生物计数和识别中的应用”,鼓励进行与浮游生物自动识别研究相关的交流活动。浮游生物图像领域的一个重要发展是浮游动物扫描仪 Zooscan 的出现,为已经保存的浮游生物样品创造高精度的数字记录 (Grosjean *et al.*, 2004)。专业的浮游生物扫描仪,结合扫描传感器、光学系统和防水扫描室,可以将浮游动物样品置入其中,在高分辨率下数字化,并且毫无损伤地回收样品。所产生的图像能够通过专门的软件进行识别、计数和测定。这种方法已在一些海域得到应用,如地中海、加利福尼亚沿海等 (Gorsky *et al.*, 2010),取得一系列的研究成果。Zooscan 技术有效推动了浮游生物分类学与生态学研究的发展,为大尺度、长时间序列的浮游生物分类学、生态学和生物多样性研究提供了一种新的手段,对于全球尺度的浮游生物序列比较研究具有重要意义。

国内的浮游生物自动识别技术刚刚起步,相关研究如赵文仓等(2005)、杨榕等(2006)。加快浮游生物图像自动识别技术的研究,开发、利用与构建我国近海浮游生物图像数据库并逐步实现浮游生物的自动识别与定量分析,对于我国近海浮游生物分类学、生态学、生物多样性及相关领域的研究将具有重要的推进作用。本文结合 Zooscan 扫描技术、ZooProcess 分析技术以及 Plankton Identifier 图像自动识别功能,首次将浮游动物的图像自动识别方法用于胶州湾浮游动物生态学的研究中,为我国海洋浮游动物生态学研究方法的改进提供有益的借鉴。

1 材料与方法

1.1 浮游动物样品采集

利用“创新号”科学考察船,于2009年每月中旬在胶州湾逐月进行浮游动物样品的采集,采样站点为胶州湾长期观测站点,如图1所示。使用浅水I型浮游生物网由底至表进行垂直拖网,将获取的样品立即使用5%的福尔马林溶液固定,带回实验室进行镜检分析和扫描分析。

1.2 浮游动物样品扫描

使用法国 Hydroptic 公司生产的浮游动物扫描仪 (Zooscan) 进行样品的扫描。Zooscan 的使用方法参见 <http://www.zooscan.com>。本研究所用样品框选用

15cm×24cm 的样品框,将样品分样至适宜密度后倒入样品框中进行扫描,扫描精度为2400dpi。每个样品扫描结束后仔细回收至原来的样品瓶中。分别对扫描图像进行标准化处理,用于后续的图像自动识别分析。

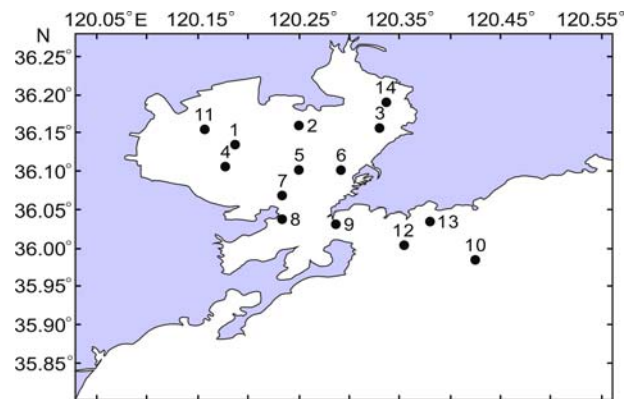


图1 胶州湾调查站位图

Fig.1 Sampling stations in the Jiaozhou Bay

1.3 图像自动识别

根据样品中浮游动物类群的组成情况,利用软件 Plankton Identifier 建立浮游动物图像培训数据库,并验证其分类性能,性能得到认可后利用已形成的图像培训数据库对浮游动物样品的扫描文件进行自动分类与识别,提取不同类群浮游动物丰度、体积、粒级等数据。

1.4 浮游动物体积的计算

把浮游动物个体近似为长椭球体,利用浮游动物在扫描面上的投影测量椭圆的长轴 *Major* 和短轴 *Minor*,根据长椭球体体积公式计算浮游动物的体积 (*V*)。计算公式如下:

$$V = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{Major}{2} \right) \left(\frac{Minor}{2} \right)^2$$

1.5 数据分析

利用 SPSS11.0 进行相关性分析,比较传统镜检方法和 Zooscan 扫描与自动分析方法的差异。

2 结果与讨论

2.1 ZooScan 系统简介

ZooScan 系统是由 ZooScan、ZooProcess 和 Plankton Identifier (PkID) 等共同组成的,ZooScan 是硬件部分,主要进行浮游动物样品扫描,形成数字图像。ZooProcess 和 PkID 是软件部分,分别以标准化的程序处理原始图像、对不同个体的形态参数进行自

动测量和对图像中的浮游动物进行自动分类和计数。其基本工作流程包括: 1) 扫描空白背景; 2) 扫描样品, 获得原始图片和元数据信息; 3) 通过 ZooProcess 软件, 标准化原始图片, 提取并测量图片中不同个体的形态参数; 4) 通过 PkID 软件建立图像培训数据库并进行性能验证; 5) 针对已扫描的样品图像, 进行浮游动物的自动识别, 获得不同类群浮游动物的数量; 6) 形态学参数的提取与分析, 可进一步获得样品的粒径组成、生物学体积等信息。

2.2 胶州湾浮游动物图像培训数据库的建立

根据胶州湾浮游动物的种类组成特征, 将胶州湾的浮游动物及杂质分为 13 个类群, 其中生物类群 10 个, 非生物类群 3 个, 如表 1 所示。

表 1 胶州湾图像培训数据库中的主要类群(包括生物类群和杂质)

Tab.1 Training set of zooplankton images (including biological groups and non-biological groups) from the Jiaozhou Bay

Group	类群	Group	类群
Copepoda	桡足类	Larva of Echinodermata	棘皮类幼体
Chaetognatha	毛颚类	Larva of Euphausia	磷虾幼体
Appendicularia	被囊类	Larva of Starfish	海星幼体
Medusa	水母类	Detritus	杂质
Noctiluca	夜光虫	Fiber	纤维
Euphausia	磷虾	Shadow	阴影
Coscinodiscus	圆筛藻		

根据 Gorsky 等(2010)的研究, 培训数据库的性能随数据库中所包含图像个数的增加而增加, 达到 300 个图像时, 性能达到稳定状态。本研究中每个类群随机从图像数据库中选取 300—1500 个图像, 构成图像培训数据库。每类群另外选取 50—100 个图像, 构成验证数据库。在目前已有的自动分类与识别方法中, Random Forest 方法一致被认为具有最高的识别准确率和最低的错误率。本研究中使用 Random Forest 方法进行培训数据库性能的检验, 结果分别如表 2 和表 3 所示。在表 2 中, Recall 表示对该类群准确识别的概率, 1-Precision 表示误判率, 也就是将本来不属于该类群的图像错误地识别为该类群的概率。Recall 的值越高、1-Precision 的值越低, 表明图像识别的性能越好。表 2 的结果表明, 对于绝大部分类群, 图像识别的准确率可以达到 80% 以上, 且误判率低于 20%。对于毛颚类、桡足类、夜光虫、磷虾等的识别准确率可以高达 90% 以上, 认为该图像培训数据库具有较好的分类识别性能, 可以进一步用于样品的自动分析。

表 3 表示进行分类性能验证的混合矩阵, 可以进一步明确不同类群被自动识别的具体情况。

表 2 胶州湾浮游动物培训数据库性能验证

Tab.2 Performance of the training set of the zooplankton images from the Jiaozhou Bay

Groups	Recall	1-Precision
Copepoda	0.9200	0.1321
Chaetognatha	0.9800	0.0000
Appendicularia	0.6800	0.1500
Medusa	0.8400	0.0233
Noctiluca	0.9800	0.1250
Euphausia	0.9100	0.0900
Coscinodiscus	0.9293	0.0515
Larva of Echinodermata	0.7800	0.1613
Larva of Euphausia	0.7200	0.0769
Larva of Starfish	0.5400	0.0357
Detritus	0.7300	0.4859
Fiber	0.9000	0.2105
Shadow	0.8800	0.0638

2.3 ZooScan 图像自动识别方法与传统方法的比较

利用所建立的胶州湾浮游动物图像培训数据库, 对胶州湾 2009 年 124 个浮游动物大网样品的扫描进行识别分析, 并选取其中 5 个最主要的浮游动物类群, 与人工分类结果进行比较。这五个类群包括桡足类、毛颚类、夜光虫、被囊类和水母类, 无论是数量还是生物量在胶州湾都占据优势地位。胶州湾 5 个主要浮游动物类群的自动分类与人工分类结果比较如图 2 所示。对于分类特征较为明显的桡足类和毛颚类, 自动识别和人工分类方法具有很好的一致性。对于个体形态变化较大的被囊类、水母类、夜光虫等浮游动物类群, 两种方法之间存在一定的差别, 但总体的变化趋势是一致的。进一步对两种方法进行相关性分析, 结果如图 3 所示。根据统计检验的结果, 采用两种方法对胶州湾 5 个主要浮游动物类群的分类鉴定结果的相关性是极其显著的。对于图像自动识别所产生的误差, Gorsky 等(2010)建议在自动分类的基础上通过人工校正, 将少数被误分的图像校正到正确的类群中。这种方法在地中海的 Villefranche 湾已经得到很好的应用。同样, 利用图像自动识别的方法也能够对胶州湾浮游动物功能群的时空变化及生态学研究提供可靠数据。

海洋浮游动物类群的自动识别与计数对于浮游动物生态学及相关模式的研究具有重要意义。由于海

表3 胶州湾培训数据库性能验证矩阵
Tab.3 Performance test matrix of the Jiaozhou Bay image training set

Groups	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Shadow	88	1	0	5	0	6	0	0	0	0	0	0	0	100
Noctiluca	0	98	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	100
Medusa	0	4	84	4	0	6	1	1	0	0	0	0	0	100
Fiber	1	0	1	90	1	5	0	0	0	1	1	0	0	100
Euphausia	0	0	0	0	91	2	0	5	0	1	0	1	0	100
Detritus	3	1	0	8	3	73	2	2	0	3	3	2	0	100
Coscinodiscus	1	0	0	0	0	6	92	0	0	0	0	0	0	99
Copepoda	0	0	0	0	0	7	0	92	0	0	1	0	0	100
Chaetognatha	0	0	0	0	1	1	0	0	98	0	0	0	0	100
Appendicularia	0	0	0	3	0	9	0	0	0	34	4	0	0	50
Echino Larva	1	8	1	2	0	10	0	0	0	0	78	0	0	100
Euphau Larva	0	0	0	0	4	6	0	3	0	0	0	36	1	50
Star Larva	0	0	0	2	0	11	0	3	0	1	6	0	27	50
Sum	94	112	86	114	100	142	97	106	98	40	93	39	28	1149

注: 1. Shadow; 2. Noctiluca; 3. Medusa; 4. Fiber; 5. Euphausia; 6. Detritus; 7. Coscinodiscus; 8. Copepoda; 9. Chaetognatha; 10. Appendicularia; 11. Echino Larva; 12. Euphau Larva; 13. Star Larva; 14. Sum

洋浮游动物种类繁多, 要以单个种类进行海洋生态系统能量流动和物质循环的研究是十分困难的。海洋学家在实践中希望找到一种快捷、准确、连续的方法来研究食物网和生源要素传递的状态和动力学变化。因此, 浮游生物功能群的概念逐渐被发展起来并应用到了海洋生态系统食物网和生物地球化学循环模型的研究中(Sun *et al.*, 2010; 霍元子, 2008¹⁾)。例如, 根据黄海生态系统的特点, Sun 等(2010)将黄海的浮游动物划分为6个功能类群, 分别为大型桡足类、小型桡足类、大型浮游甲壳类、海樽类、毛颚类和水母类。这些类群具有显著的形态学差异。此外, 浮游动物功能群的方法亦被用于生物地球化学模型(Le Quéré *et al.*, 2005)、食物网结构模型(Hopkins *et al.*, 1989, 1993; Araújo *et al.*, 2006)及营养结构和能量流动研究(Zetina-Rejón *et al.*, 2003)。浮游动物的图像自动识别与计数对于上述研究将具有重要推进作用。

2.4 ZooScan 技术与其它图像手段的比较

根据不同的应用目的, 目前的浮游生物成像系统可分为两大类, 即实验室成像系统和野外原位成像系统。实验室成像系统主要针对已经采集并固定保存的浮游生物样品, ZooScan 便是其中的一种。野外原位成像系统在现场便可直接获取浮游生物图像, 相关的产品如浮游生物视频记录器(Video Plankton

Recorder, VPR)、数字视频捕获系统(Digital Video Acquisition System)、浮游鱼类原位成像系统(*In Situ* Ichthyoplankton Imaging System)、激光浮游生物计数器(Laser Optical Plankton Counter)、阴影图像颗粒剖面记录仪(Shadowed Image Particle Profiler and Evaluation Recorder)、水下视频剖面仪(Underwater Video Profiler)、浮游生物视频记录器二代(Video Plankton Recorder II)、大面积浮游生物成像系统(Large Area Plankton Imaging System)、浮游动物可视化系统(Zooplankton Visualization System)等(Gorsky *et al.*, 2000; Ashjian *et al.*, 2001; Benfield *et al.*, 2003; Davis *et al.*, 2004; Remsen *et al.*, 2004)。这些系统大部分聚焦于中型浮游生物的成像。使用 VPR 自动识别浮游生物的研究表明自动分类方法对于主要浮游动物类群丰度的估计已足够准确, 对其中7个类群自动识别的准确率为60%—70%, 对两个类群识别的准确率达到79%—82%, 因此可以用来针对主要生物门类进行海上实时定量监测(Davis *et al.*, 2004)。为了降低图像识别技术的成本, 西班牙 AZTI 的科学家们2005年开发了一套免费软件 Plankton Visual Analyser (PVA) (<http://www.azti.es>)。该软件可以使用通过任何成像装置获得的浮游生物的数字图像来分析样品中的生物, 它结合了图像分析和模式识别技术, 允许用

1) 霍元子, 2008. 黄海浮游动物功能群的研究. 青岛: 中国科学院海洋研究所博士学位论文, 1—125

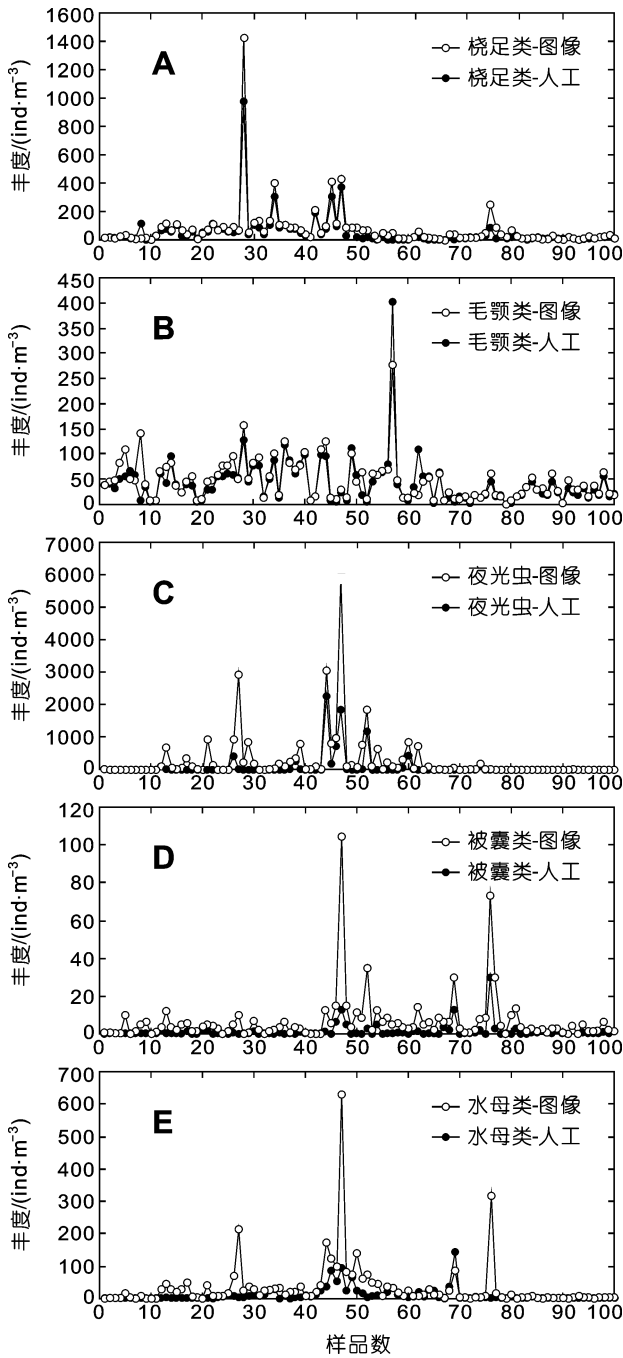


图 2 不同浮游动物类群人工分类与自动分类结果比较

Fig.2 Comparison on the results of manual and automatic identification on different zooplankton groups

户设定和培训软件, 识别特有的目标种类, 进行计数、特征参数测量和分类。通过比较显微镜和 PVA 对中型浮游动物样品的计数结果, AZTI 已经验证了 PVA 的自动计数能力。PVA 可主要用于两个方面: 一方面用于广泛分析没有进行常规分析的浮游动物历史样品, 另一方面用于鱼卵的快速计数、大小测定和识别鉴定。ZooProcess 是专门针对浮游生物扫描仪

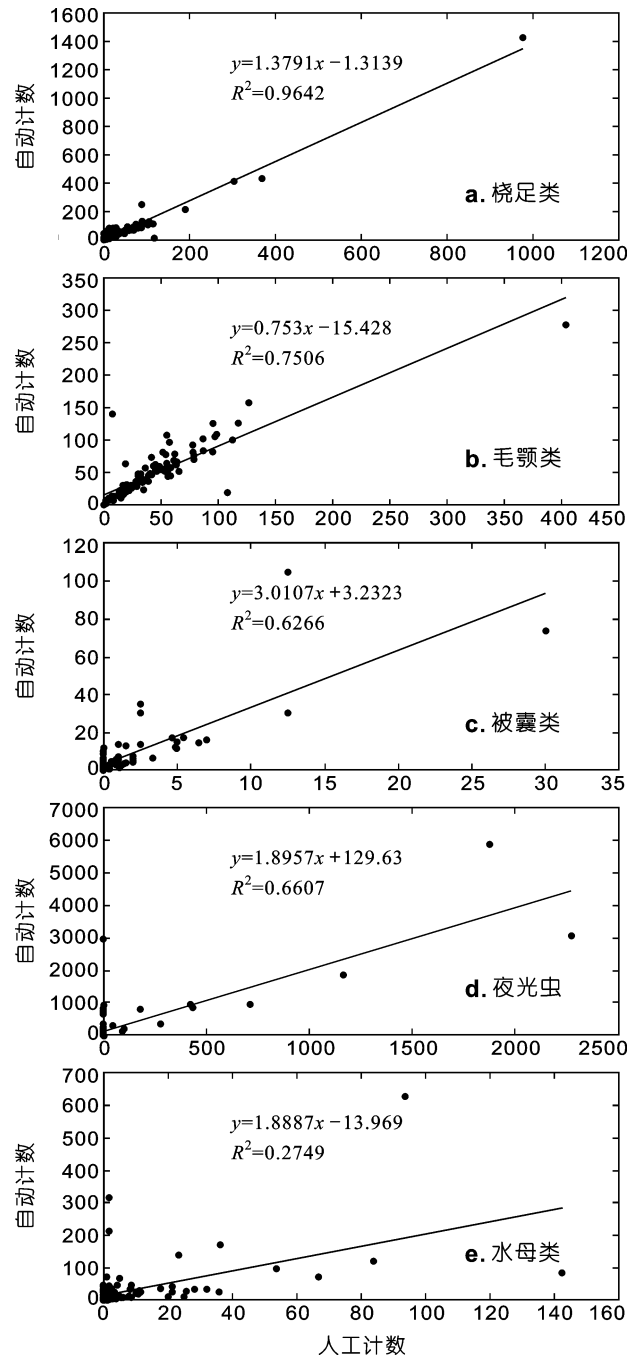


图 3 自动计数与人工计数的相关性分析

Fig.3 Correlation analysis of the automatic and manual counting

Zooscan 开发的软件系统, 它结合图像分类和识别软件 Plankton Identifier 使用, 有 7 种自动识别算法可供选择, 能够对浮游生物样品进行快速的自动识别与定量分析。已经证明 ZooProcess 的自动识别性能与分类学家进行人工分类的性能相当, 某些重要的浮游动物类群, 如桡足类、箭虫等自动识别准确率达到 90% 以上, 识别能力得到有效提高。

2.5 对其它浮游动物生态学参数的分析

除了对浮游动物样品的自动分类与计数之外,利用样品扫描图像所获得的参数,可以同时浮游动物的ESD (Equivalent Spherical Diameter, 等效球体直径)、面积、体积、粒径谱等生态学参数进行估计,这对于海洋生态系统中的能量流动及食物生产过程研究具有重要的生态学意义。本文以体积和粒径的研究为例,进一步阐述图像自动识别方法在浮游动物生态学中的应用。随机选取10号站季度月样品,根据扫描图像获得的参数,利用椭球体的体积公式,计算不同类群的体积,结果如图4所示。清晰地给出了胶州湾不同类群浮游动物的体积变动情况。在此基础上,根据ESD值的分布,进一步获得该站不同季节浮游动物的粒径分布情况,以及不同浮游动物类群的粒径分布情况,结果如图5所示。这一结果与王世伟(2009)¹⁾对胶州湾桡足类以及王倩等(2010)对胶州湾毛颚类变动规律的研究是吻合的。用浮游生物网具和其它取样工具的常规取样几乎是浮游生态学领域所有长期监测项目的必要组成部分。快速获取浮游生物种类和粒径分布信息的需求尤为迫切。浮游生物图像自动识别技术可以迅速获得主要浮游生物类群的生态学信息,对于胶州湾主要浮游动物类群的生态学研究、生物量的估计以及粒径组成的长期变化研究等方面将具有不可比拟的优势。

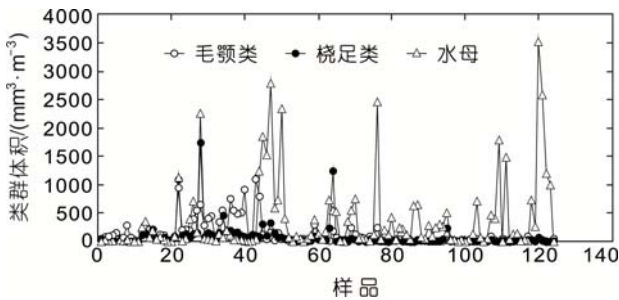


图4 不同浮游动物类群体积信息
Fig.4 Biovolume of different zooplankton groups

3 结论

作者对所建立的胶州湾浮游动物图像培训数据库并进行性能验证,对胶州湾绝大部分类群,图像识别的准确率可以达到80%以上,且误判率低于20%。对于毛颚类、桡足类、夜光虫、磷虾等的识别准确率

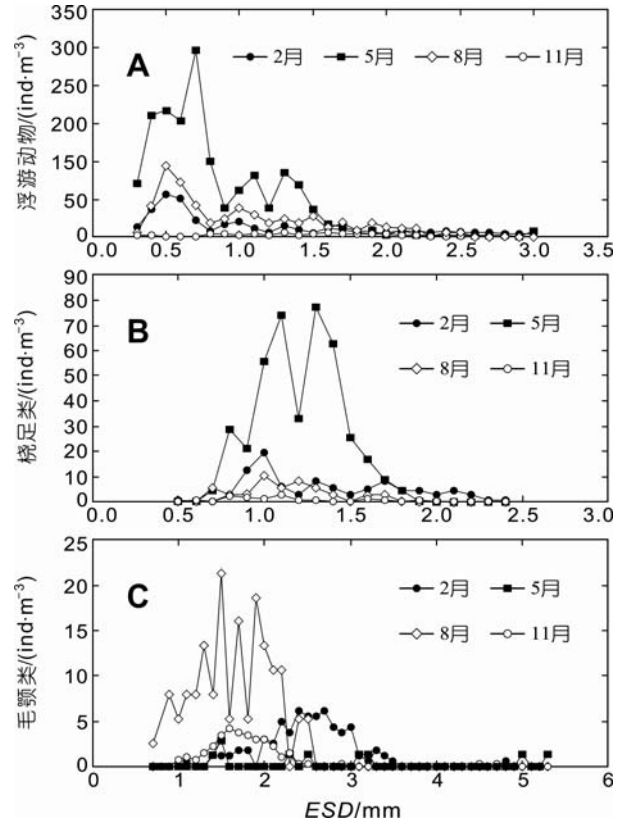


图5 10号站季度月浮游动物及不同类群的粒径分布
Fig.5 ESD distribution of different zooplanktons groups in Station 10
A. 浮游动物, B. 桡足类, C. 毛颚类

可以高达90%以上。进一步将图像自动识别结果与人工分类的结果进行比较,发现对于胶州湾5个主要的优势类群,两种方法之间存在极其显著的相关性,尤其是桡足类和毛颚类, r^2 值分别可达到0.96和0.75。

致谢 中国科学院海洋研究所胶州湾生态系统长期观测团队和“创新号”号工作人员在样品采集中付出了极大的努力,王玉华老师在样品扫描中进行了大量工作,谨致谢忱。

参 考 文 献

王 倩, 孙 松, 霍元子等, 2010. 胶州湾毛颚类生态学研究. 海洋与湖沼, 41(4): 639—644
李 强, 安传光, 徐霖林等, 2010. 崇明东滩潮沟浮游动物数量分布与变动. 海洋与湖沼, 41(2): 214—222
杨 榕, 张 荣, 孙 松, 2006. 基于图像处理技术的浮游生物自动分类研究. 计算机仿真, 23(5): 167—170
赵文仓, 姬光荣, 周立俭等, 2005. 浮游植物细胞图像识别方

1) 王世伟, 2009. 黄海中华哲水蚤繁殖、种群补充与生活史研究. 青岛: 中国科学院海洋研究所博士学位论文, 1—120

- 法的研究. 计算机工程, 31(24): 143—145
- Araújo J N, Mackinson S, Stanford R J *et al*, 2006. Modeling food web interactions, variation in plankton production, and fisheries in the western English Channel ecosystem. *Mar Ecol Prog Ser*, 309: 175—187
- Benfield M C, Lavery A, Wiebe P H *et al*, 2003. Distributions of physonect siphonulae in the Gulf of Maine and their potential as important sources of acoustic scattering. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60: 759—772
- Culverhouse P F, Williams R, Reguera B *et al*, 2003. Do experts make mistakes? *Mar Ecol Prog Ser*, 247: 17—25
- Davis C S, Hu Q, Gallager S M *et al*, 2004. Real-time observation of taxaspecific plankton distributions: An optical sampling method. *Mar Ecol Prog Ser*, 284: 77—96
- Gorsky G, Flood P R, Youngbluth M J *et al*, 2000. Zooplankton distribution in four western Norwegian fjords. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50: 129—135
- Gorsky G, Ohman M D, Picheral M *et al*, 2010. Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated system. *J Plankton Res*, 32(3): 285—303
- Grosjean P, Picheral M, Warembourg C *et al*, 2004. Enumeration, measurement, and identification of net zooplankton samples using the ZOOSCAN digital imaging system. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 518—525
- Hopkins T L, Lancraft T M, Torres J J *et al*, 1993. Community structure and trophic ecology of zooplankton in the Scotia Sea marginal ice zone in winter (1988). *Deep-Sea Research I*, 40: 81—105
- Le Quééré C, Harrison S P, Prentice I C *et al*, 2005. Ecosystem dynamics based on plankton functional types for global biogeochemistry models. *Global Change Biology*, 11: 2016—2040
- Sun S, Huo Y, Yang B, 2010. Zooplankton functional groups on the continental shelf of the Yellow Sea. *Deep-Sea Research II*, 57: 1006—1016
- Zetina-Rejón M J, Arreguín-Sánchez F, Chávez E A, 2003. Trophic structure and flows of energy in the Huizache-Caimanero lagoon complex on the Pacific coast of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57: 803—815

APPLICATION OF AUTOMATED IMAGE IDENTIFICATION IN ZOOPLANKTON ECOLOGY STUDIES IN THE JIAOZHOU BAY

SUN Xiao-Xia¹, SUN Song^{1, 2}, WANG Shi-Wei¹, LIU Meng-Tan¹, ZHAO Yong-Fang¹

(1. *Jiaozhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*; 2. *Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

Abstract Zooplankton plays an important role in the marine ecosystem. How to rapidly identify zooplankton species is a key problem in zooplankton ecology studies. Automated zooplankton image identification technique is a rapid and standard method developed in recent years. However, this technique has not been used efficiently in zooplankton research in China. By combing the approaches including Zooscan, Zooprocess, and Plankton Identifier, we used the automated image identification method in the Jiaozhou Bay for the first time. A learning set of Jiaozhou Bay zooplankton images were set up according to the dominant zooplankton composition. Results of the performance test indicated that the recall was higher than 80%, and contamination was lower than 20% for most zooplankton groups. For the groups of Copepod, Chaetognath, Noctiluca, and Euphausia, the recall was higher than 90%. When comparing the results obtained from both automated and manual identification, we found that there was significant correlation between the two methods among the five dominant groups, especially for the group of Copepod and Chaetognath, and the values of r^2 reached 0.96 and 0.75, respectively. The automated analysis was further used for the study of biovolume and size spectra of zooplankton, which improved that the automated image identification was very useful for zooplankton ecological study and long term change research in the Jiaozhou Bay and other coastal ecosystems.

Key words Zooplankton, Image, Automated identification, Jiaozhou Bay