

基于图像技术的胶州湾浮游动物优势种体型参数与生物量转换关系研究*

孙松^{1,2} 毕永坤^{1,3} 孙晓霞¹

(1. 胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站 青岛 266071; 2. 海洋生态与环境科学重点实验室 中国科学院海洋研究所 青岛 266071; 3. 中国科学院研究生院 北京 100049)

提要 利用 ZooScan 图像扫描技术, 建立胶州湾浮游动物优势种中华哲水蚤和强壮箭虫体长、面积和体积与干重之间的回归关系。比较了不同季节、不同参数之间的差异。结果表明, 不同月份的回归关系之间无显著差异, 在三个体型参数中, 面积拟合生物量的程度最好, 是利用图像方法估算生物量最佳参数。中华哲水蚤和强壮箭虫体型-生物量转换关系可以分别表示为: $\lg DW = 1.61 \lg A + 1.69$, $\lg DW = 1.54 \lg V + 1.32$ 。

关键词 图像, 干重, 体长, 面积, 体积
中图分类号 Q958

浮游动物在海洋生态系统中扮演重要的角色, 是连接经典食物网和微食物环的重要环节, 是海洋生态系统中“上行”和“下行”效应的重要作用点 (Richardson *et al.*, 2004; Frederiksen *et al.*, 2006)。众所周知, 生物量是浮游动物生态学研究的一个重要参数。受测量手段的限制, 目前的浮游动物生态学研究较多使用丰度, 但是由于不同类群浮游动物个体差异较大, 通过生物量(湿重、干重或者碳、氮含量)能够更为准确地了解浮游动物在海洋生态系统物质循环和能量流动中所发挥的作用 (Banse, 1995)。

为了测量浮游动物的生物量, 研究人员采用置换体积(Displacement volume)、体长和图像面积等体型参数和生物量参数之间的回归关系间接估算生物量(Wiebe *et al.*, 1975; Uye 1982; Postel *et al.*, 2000; Lehette *et al.*, 2009; 林雅蓉等, 1987; 杨波等, 1988; 王雄进等, 1988; 左涛等, 2003)。通过体型与生物量参数之间的回归关系, 可以较为精确地获得浮游动物的生物量。前人的研究多数采用人工方法测量浮游动物的体长、体积等参数, 该方法工作量大, 难以针对

野外调查的所有样品进行测定, 限制了该方法在浮游动物生态学研究中的推广应用。

本研究采用图像扫描的方式自动获取浮游动物的体型参数, 建立胶州湾浮游动物体型参数(体长、扫描面积和体积)与生物量之间的回归关系。孙松等(2008)的研究表明, 桡足类和毛颚类是胶州湾的浮游动物优势类群。因此本研究以中华哲水蚤和强壮箭虫为代表, 通过测定其体型参数和干重, 得到浮游动物体型参数与生物量之间的回归关系, 为基于图像技术进行我国近海浮游动物生物量的研究和计算奠定重要的方法基础。

1 材料和方法

1.1 浮游动物样品采集及干重测定

2010年8月、2010年11月—2011年2月用浅水 I 型浮游生物网(网目直径 500 μm , 网口面积 0.2 m^2) 在胶州湾采集浮游生物样品(采样站位见图 1)。采集的样品用冰桶带回实验室, 挑取优势种中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*) 和强壮箭虫 (*Sagitta crassa*)。用 0.45

* 国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2011CB403601 号; 国家自然科学基金重点项目, 41230963 号; 中国科学院战略性先导科技专项, XDA05030401 号; 国家海洋公益性行业科研专项, 201005014 号。孙松, 研究员, E-mail: sunsong@qdio.ac.cn

通讯作者: 孙晓霞, 研究员, 博导, E-mail: xsun@qdio.ac.cn

收稿日期: 2011-12-31, 收修改稿日期: 2012-11-28

μm 的醋酸纤维滤膜过滤的海水冲洗掉浮游动物体表的颗粒碎屑, 然后将浮游动物用饱和 NaHCO_3 海水麻醉 10—15 min。麻醉完成后用 ZooScan 扫描浮游动物获得图像。随后将样品挑出, 用吸水纸吸去表面海水后转移到预先灼烧(450°C , 4h)称重的 Whaterman GF/F 滤膜上, 60°C 烘干 24 h 后称重, 称量采用感量为 0.01 mg 的电子天平。为保证体重称量的准确性, 中华哲水蚤采用 3—5 只体型相近的虫体同时测量的方法, 体型参数和生物量参数均取其平均值; 强壮箭虫个体较大, 采用单只测量的方法。

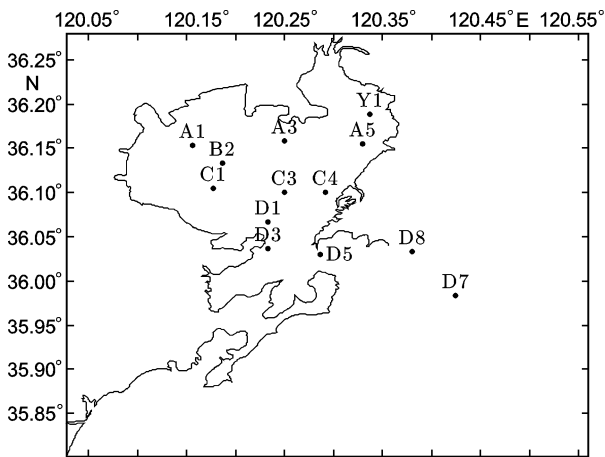


图 1 胶州湾海区采样站位图

Fig. 1 Map of sampling stations in Jiaozhou Bay

1.2 ZooScan 扫描及图像的处理

ZooScan Integrated System 是 Gorsky 等设计的获取和处理浮游动物样品图像的整合系统, 能够完成样品的分辨、记数和测量工作(Gorsjean *et al.*, 2004)。该系统是由 ZooScan、ZooProcess 和 Plankton Identifier(PkID)等共同组成的, 分别进行浮游动物样品扫描、标准化程序处理和图像的自动分类识别。ZooScan 扫描的参数如下: 扫描面积为 $15\text{cm}\times 24\text{cm}$, 最大分辨率为 2400dpi, 每个像素长度为 $10.58\mu\text{m}$, 像素长度标准误为 0.28%(Gorsjean *et al.*, 2004)。

将浮游动物近似为长椭球体(Reid *et al.*, 1970, Burkill *et al.*, 1993), 长轴(Major)近似作为体长(Length), 短轴(Minor)代表体宽, 用椭球体体积近似描述浮游动物的体积(BioVolume, BV)。ZooScan 的基本工作流程如下: (1)扫描前扫描一次空白做为图片背景值; (2)扫描高分辨率的原始图片, 同时生成带有站位、网型、采样深度和分样倍数等相关信息的文件; (3)ZooProcess 标准化处理原始图片, 分割提取出具有连续像素点并且形成灰度为 243 的实体图像; (4)按照最近似椭球

体测量图片的 46 个参数, 包括大小、形态、灰度和分型维数等。本研究所采用的参数包括: 体长(椭球体长轴)、扫描面积和体积(椭球体体积)。面积为浮游动物在水平面上投影的大小, 以 ZooScan 直接测得投影的像素点数计算; 体积的计算公式为: $V=(4\pi/3)(\text{Major}/2)(\text{Minor}/2)^2$ 。ZooScan 直接得到的体型参数均以像素点计算, 需要根据每个像素长度为 $10.58\mu\text{m}$ 转换为标准单位。

1.3 统计分析

浮游动物生物量研究一般假定生物体是一个密度均匀的不规则实体, 同种生物具有相同的形状。因此生物量可以用下面公式表示。

$$\text{生物量} = \text{密度} \times \text{体积}$$

在实际工作中生物体的准确体积难以测量, 但同类生物具有相似体型, 其长宽高之间具有近似恒定的比例, 因此多数研究通过容易测量的参数如体长、面积等估测, 以体长为例(Halliday, 2001):

$$\begin{aligned} \text{体积} &= K_0 \times L \times W \times H = K \times L \times K_1 L \times K_2 L \\ &= (K_0 \times K_1 \times K_2) \times L^3 \end{aligned}$$

其中 K 代表计算中的系数, L 为长度, W 为宽度, H 为高度。 K_0 表示生物实际体积与生物体长宽高形成的长方体之间比例, K_1 表示生物体宽度和长度的比例, K_2 表示生物体高度与长度的比例。

因此, 浮游动物体型参数和生物量之间的关系均适用模型: $Y=aX$ (Wiebe *et al.*, 1975)。其中 β 可以显示维度方面的信息, 是指示浮游动物形状的参数。 $\alpha = \text{密度} \times K$, 因此在 β 相同的情况下, α 显示了浮游动物密度方面的信息。

多数研究中, 公式两边取以 10 为底的对数, 将公式转化为线性公式: $\lg Y = \lg \alpha + \beta \lg X$ 。本研究中亦采用线性公式, 同时体型参数和生物量均以数学平均的方式转化为浮游动物个体值, 以体型参数作为自变量, 用于估计其生物量的大小(Ricker, 1973; Legendre *et al.*, 1998)。不同回归关系之间采用 T -检验(双尾)比较其斜率和截距, 如果斜率和截距比较无统计学差距, 可以认为两个关系无统计学差距。

2 结果

2.1 中华哲水蚤体型参数与干重的回归关系

中华哲水蚤体型参数与干重的回归关系如表 1 所示。结果表明, 中华哲水蚤体长、面积和体积与干重的回归关系极显著(所有关系均有 $P < 0.0001$)(图 2)。

经 T -检验(双尾)发现相同体型参数与干重不同

表 1 浮游动物干重与体型参数的回归关系
Tab.1 Regressions between dry weight and shape parameters of zooplankton

Label	关系式	r	n	P	X 值分布
1011Cal	$\lg DW=1.771\lg L+1.48$	0.892	20	<0.0001	1.45—2.86
	$\lg DW=1.511\lg A+1.170$	0.964	20	<0.0001	1.07—2.75
	$\lg DW=0.921\lg BV+2.00$	0.898	20	0.0001	0.61—2.28
1012Cal	$\lg DW=2.051\lg L+1.32$	0.725	20	0.0003	2.12—3.83
	$\lg DW=1.361\lg A+1.73$	0.958	20	<0.0001	1.39—4.15
	$\lg DW=0.841\lg BV+2.03$	0.954	20	<0.0001	0.70—3.89
1101Cal	$\lg DW=2.801\lg L+1.09$	0.924	20	<0.0001	1.85—3.04
	$\lg DW=1.491\lg A+1.74$	0.953	20	<0.0001	1.19—4.15
	$\lg DW=1.001\lg BV+2.04$	0.945	20	<0.0001	0.69—2.72
1102Cal	$\lg DW=1.571\lg L+1.74$	0.758	20	0.0001	2.65—3.19
	$\lg DW=0.851\lg A+2.08$	0.784	20	<0.0001	2.35—3.59
	$\lg DW=0.511\lg BV+2.27$	0.718	20	0.0004	1.84—3.67
Total Cal	$\lg DW=2.501\lg L+1.22$	0.837	80	<0.0001	1.45—3.83
	$\lg DW=1.611\lg A+1.69$	0.963	80	<0.0001	1.07—4.15
	$\lg DW=1.041\lg BV+2.02$	0.942	80	<0.0001	0.61—3.89
1008Sag	$\lg DW=0.561\lg L+1.81$	0.462	18	0.0537 *	2.90—11.31
	$\lg DW=1.491\lg A+1.35$	0.910	18	<0.0001	2.58—7.83
	$\lg DW=0.711\lg BV+2.02$	0.706	18	<0.0001	0.88—4.64
1012Sag	$\lg DW=0.981\lg L+1.34$	0.722	18	0.0007	2.21—14.37
	$\lg DW=1.311\lg A+1.28$	0.967	18	<0.0001	1.54—8.81
	$\lg DW=0.771\lg BV+1.82$	0.828	18	<0.0001	0.71—7.63
1101Sag	$\lg DW=0.701\lg L+1.83$	0.313	20	0.2017 *	5.03—13.07
	$\lg DW=1.291\lg A+1.56$	0.937	20	<0.0001	1.59—8.70
	$\lg DW=0.681\lg BV+2.21$	0.917	20	<0.0001	0.36—10.02
1102Sag	$\lg DW=0.281\lg L+2.46$	0.202	20	0.3941 *	4.66—16.10
	$\lg DW=1.421\lg A+1.51$	0.952	20	<0.0001	3.82—11.29
	$\lg DW=0.651\lg BV+2.28$	0.862	20	<0.0001	1.31—14.54
Total Sag	$\lg DW=1.541\lg A+1.32$	0.899	76	<0.0001	1.54—11.29
	$\lg DW=0.811\lg BV+1.03$	0.785	76	<0.0001	0.36—14.54

注: DW 为干重(μg)、 L 为体长(mm)、 A 为扫描面积(mm^2)、 BV 为体积(mm^3)，标签中四位数字前两位代表年份，后两位代表月份，Cal 代表中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、Sag 代表强壮箭虫(*Sagitta crassa*)。*: $P>0.01$ 回归关系不明显，回归关系以 $\lg Y=b\lg X+a$ 表示

月份的回归关系之间有相近的斜率和截距，差异不显著($P>0.001$ ，表 2)，说明在本研究中不同月份中华哲水蚤的回归关系类似。将不同月份数据合并，得到新的关系(表 1)。

经检验三个体型参数与干重回归关系显著($P<0.0001$)。相关系数 r 可以指示直线回归关系的拟合程度好坏， r 值越大，直线拟合程度越好。2 月中华

哲水蚤不同体型参数与干重回归关系的相关系数有 $r_A > r_L > r_{BV}$ ，即面积拟合干重程度最好。其他月份的回归关系相关系数 r 均有 $r_A > r_{BV} > r_L$ ，即面积拟合干重程度最好，体积次之，体长最差；在合并回归关系中也有面积拟合干重程度最好的结果。基于此，得到胶州湾中华哲水蚤体型-生物量最佳转换关系为： $\lg DW=1.611\lg A+1.69$ 。

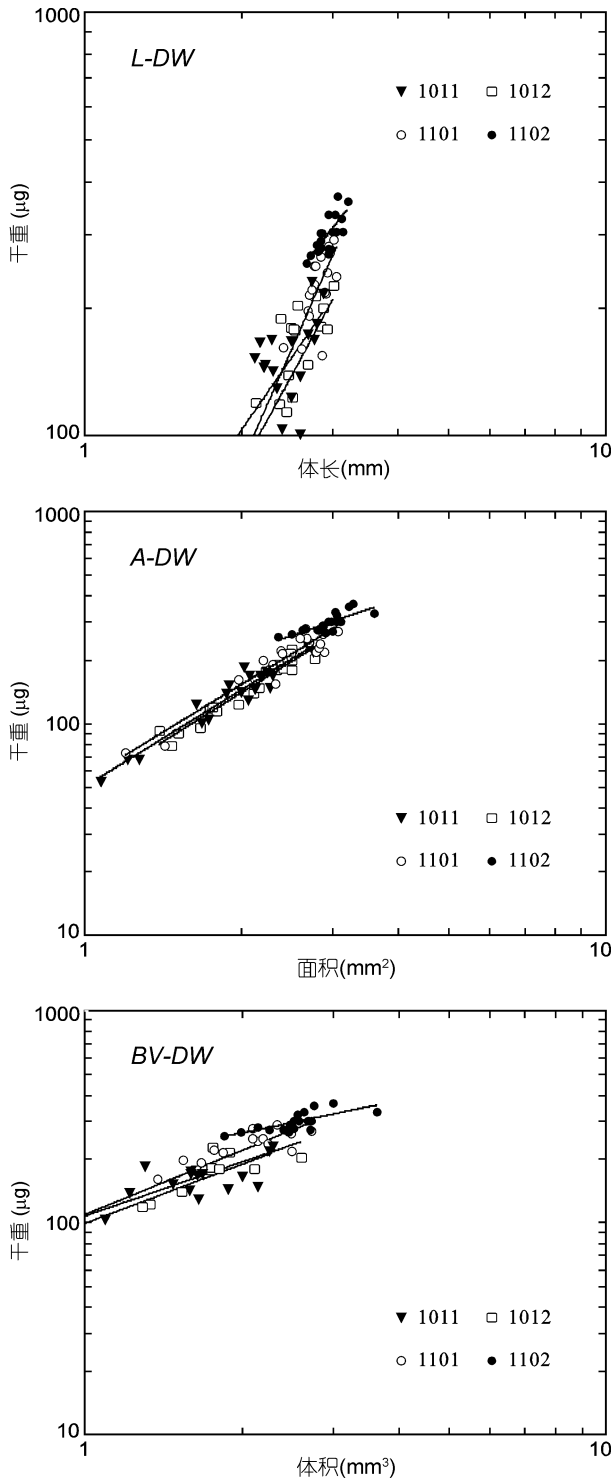


图2 胶州湾中华哲水蚤体长、面积和体积与干重的关系
Fig.2 Relationship between dryweight and length, area, volume of *Calanus sinicus* in Jiaozhou Bay

2.2 强壮箭虫体型参数与干重的回归关系

2010年8月和2011年1月、2月强壮箭虫体长与干重回归关系不显著($P>0.01$),即本方法不能揭示强壮箭虫体长与干重的回归关系;而面积和体积与

干重的回归关系极显著($P<0.001$,见表1、图3)。对强壮箭虫不同月份面积和体积与干重的回归关系进行比较,不同月份回归关系差异不显著($P>0.01$,见表2),因此将四月份强壮箭虫的面积和体积与干重回归关系分别合并(见表1)。基于此,得到胶州湾强壮箭虫体型-生物量最佳转换关系为: $\lg DW=1.54\lg A+1.32$ 。

合并后回归关系极显著($P<0.0001$)。强壮箭虫回归关系相关系数 r 在四月份中均有 $r_A>r_{BV}$,说明面积拟合干重程度优于体积。

3 讨论

3.1 基于不同季节、参数的回归关系之间的比较

在本研究中,通过在若干月份建立的回归关系比较发现,不同月份之间回归关系无显著差异。根据 $\lg Y=\lg \alpha+\beta \lg X$, β 是指示浮游动物形状的参数,在 β 相同的情况下, α 指示了浮游动物密度方面的信息,即在本研究不同月份采集的样品有相似的体型和密度。上述研究表明胶州湾浮游动物的季节变化不影响浮游动物生物量与体型转换关系,不同时期可以使用通用的转换公式。

比较浮游动物体型参数与干重的回归关系发现,在体长、面积和体积中,用面积拟合的效果最好。浮游动物样品在固定或麻醉过程中,整体有一定的弯曲,这一点在毛颚类中较为明显,给体长和体积测定带来误差;因此,按现有图像处理程序得到体长和体积与实际体长、体积有一定偏差,而面积则不受这些因素的影响,因此面积是本研究方法中拟合生物量的最佳参数。

本研究中,通过比较不同月份的体型参数与干重的回归关系,认为这些回归关系之间有相近的斜率和截距,差异不显著。针对本研究获得的回归关系,由于体型参数的分布范围基本重合,因此在实际应用中,建议采用根据所有样品建立的总回归关系,以简化该方法在浮游动物生物量实际估算中的应用。

3.2 ZooScan 技术与传统方法的比较

手工测量浮游动物的体型参数十分繁琐且耗时,利用图像处理技术自动测量体型参数能显著提高效率,而且有利于处理方法的标准化。在发展图像方法上,前人作出了巨大贡献,设计了几种照相设备。1979年Ornter等利用照相机获得浮游动物活体的剪影(Ornter *et al*, 1979),并在野外调查中用于估算浮游动物的丰度(Ornter *et al*, 1981)。此后,不同的浮游动

表 2 中华哲水蚤和强壮箭虫不同月份回归关系的比较
Tab.2 Comparisons between regressions of *Calanus sinicus* and *Sagitta crassa* in different months

P	L - DW		A - DW		BV-DW		
	a	b	a	b	a	b	
Copepods	1011vs1012	>0.20	>0.50	>0.50	>0.20	>0.10	>0.50
	1011vs1101	>0.02*	>0.01*	>0.50	>0.50	>0.20	>0.50
	1011vs1102	>0.10	>0.50	>0.001*	>0.001*	>0.001*	>0.01*
	1012vs1101	>0.20	>0.10	>0.50	>0.20	>0.50	>0.10
	1012vs1102	>0.05	>0.20	>0.001*	>0.005*	>0.001*	>0.01*
	1101vs1102	>0.001*	>0.005*	>0.001*	>0.001*	>0.001*	>0.001*
Chaetognath	1008vs1012			>0.50	>0.20	>0.05	>0.50
	1008vs1101			>0.10	>0.20	>0.02*	>0.50
	1008vs1102			>0.20	>0.50	>0.01*	>0.50
	1012vs1101			>0.01*	>0.50	>0.001*	>0.05
	1012vs1102			>0.02*	>0.20	>0.001*	>0.05
	1101vs1102			>0.50	>0.20	>0.20	>0.50

注: * $P > 0.001$, 不同月份回归关系 a、b 之间比较无显著差异

物照相系统被设计出来, 用于浮游动物的自动分类和粒度分布研究(Jeffries *et al*, 1984; Dietrich *et al*, 1984; Rolke *et al*, 1984), 并进一步从图像中获得体长和扫描面积等参数(Gorsky *et al*, 1989; Lehette *et al*, 2009)。

目前, 采用图像方法研究浮游动物体型参数和生物量之间关系的报道很少, 多数的研究采用手工测量的方式获得浮游动物的体长和面积等体型参数与干重的回归关系, 将结果参数单位统一后列于表 3。

浮游生物体积多数用沉降体积(Settle Volume)或置换体积(Displacement Volume, DV)表征, 主要用于研究与湿重的回归关系(Be *et al*, 1971; Wiebe *et al*, 1975), 由于浮游动物附肢影响, 置换体积很难得到精确测量结果。林雅蓉等(1987)年提出了一种适用于小型桡足类的绘图求积法。该方法是将福尔马林固定的样品在显微镜下用显微绘图仪绘出整体的正面图和侧面图, 根据图形, 做出若干断面, 在断面处进行切片, 对每个切片求面积, 在分别乘以切片厚度, 最后将所有断面求和的到整体体积。该方法准确度较高, 但是操作繁复, 工作量大。通过本研究显示利用 ZooScan 图像处理技术获得体型参数并间接计算生物量是一种快速、可行的方法。

3.3 与相关研究之间的比较

左涛等(2003)、王雄进等(1988)和 Uye(1982)对中华哲水蚤体长-干重回归关系研究结果与本研究类似, 不同的研究得到的关系有相似的斜率, 但是截距明

显不同, 这可能是本研究采用的图像体长与前人采用的前体长之间存在差异导致的。Lehette 等(2009)在南极附近海区取样得到的桡足类面积-干重回归关系与本研究中华哲水蚤的面积-干重回归关系基本重合, 说明在两个海区不同桡足类之间有相似的回归。根据上述比较, 认为桡足类体长估测干重不能表现丰满度的影响, 而图像方法获得的桡足类剪影面积包含了体长和宽度的信息, 适用的海区可能更为广泛, 这方面还需要大量的工作进一步验证。

本研究所得毛颚类体长-干重关系的斜率和截距与 Uye(1982)的结果不同, 这主要是由于本研究采用扫描成像的方法, 毛颚类身体有所弯曲, 给体长的测量带来一定误差。从图 4 可以看出, 本研究得到强壮箭虫体长-干重关系明显有“翘尾”, 即长度测量值偏低, 这进一步说明体长不适用于估测毛颚类干重。Lehette 等(2009)获得的毛颚类面积与干重回归关系中, 剪影面积分布区间是 24.9—187.5mm², 本研究获得的强壮箭虫剪影面积(1.54—11.29mm²), 与其明显不同, 将 Lehette 等得到直线延长至本研究的面积区间中, 发现本研究斜率明显较大且位于其上方, 这显示了本研究采集的毛颚类样品在相同的剪影面积有更高的生物量。

由于 ZooScan 扫描的是样品的投影面, 其所获的面积较近似体长和通过计算获得体积两个参数更为准确。相较于人工测量获得浮游生物样品体长一维信息, ZooScan 扫描平面获得二维信息估测生物量有较

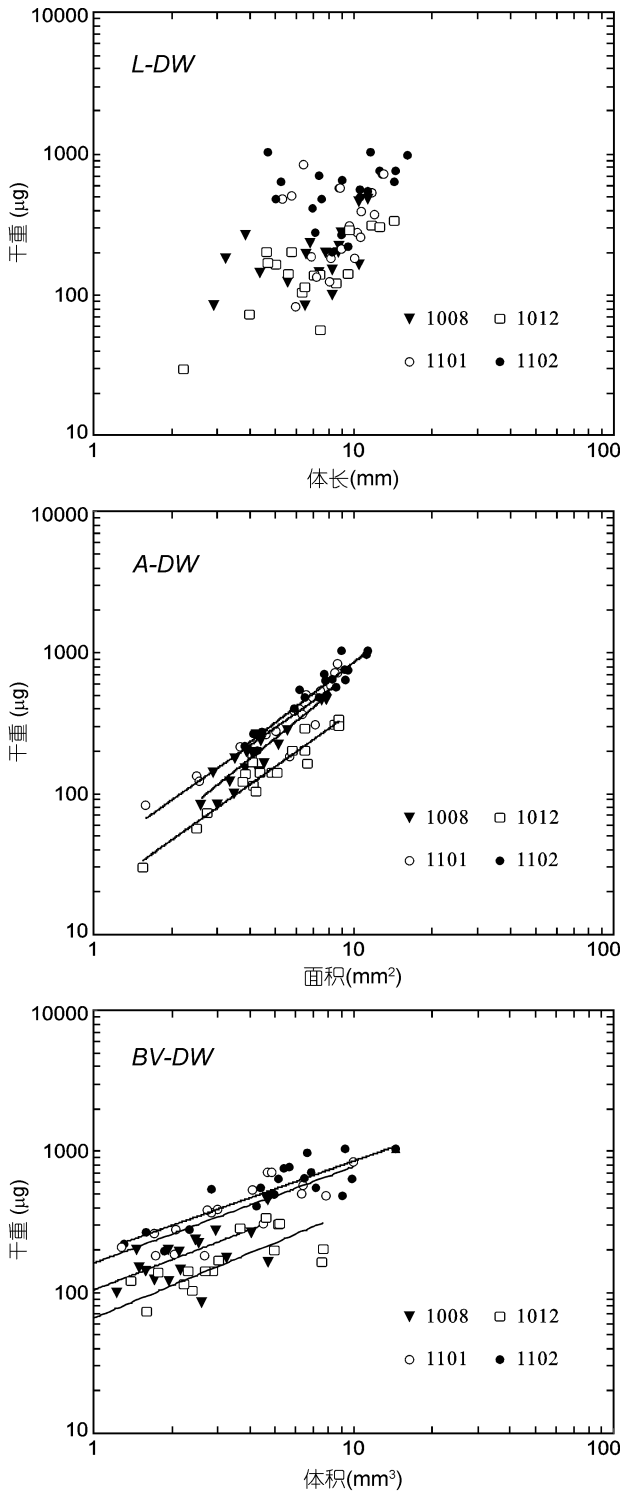


图 3 胶州湾强壮箭虫体长、面积和体积与干重的关系
Fig.3 Relationship between dryweight and length, area, volume of *Sagitta Crassa* in Jiaozhou Bay

大进步。如果能进一步获得样品体型的三维信息，通过体积直接估算生物量，可以获得更加准确的信息。Katz 等(1999)设计的全息照相系统(Holocamera)获得了浮游生物体型的三维参数，由于全息照相系统操

表 3 不同学者关于体长、面积和体积与生物量关系的研究结果

Tab.3 Results of relationships between biomass and length, area, biovolume from other researchers

来源	关系式	生物
左涛等, 2003	$\lg DW = 2.27 \lg L + 1.464$	中华哲水蚤
王雄进等, 1988	$\lg DW = 2.555 \lg L + 1.354$	中华哲水蚤
Uye, 1982	$\lg DW = 2.66 \lg L + 1.10$	中华哲水蚤
	$\lg DW = 3.24 \lg L - 0.975$	毛颚类
Lehette <i>et al</i> , 2009	$\lg DW = 1.54 \lg A + 1.70$	桡足类
	$\lg DW = 1.19 \lg A + 1.37$	毛颚类

注: L. mm, A. mm², DW. μg

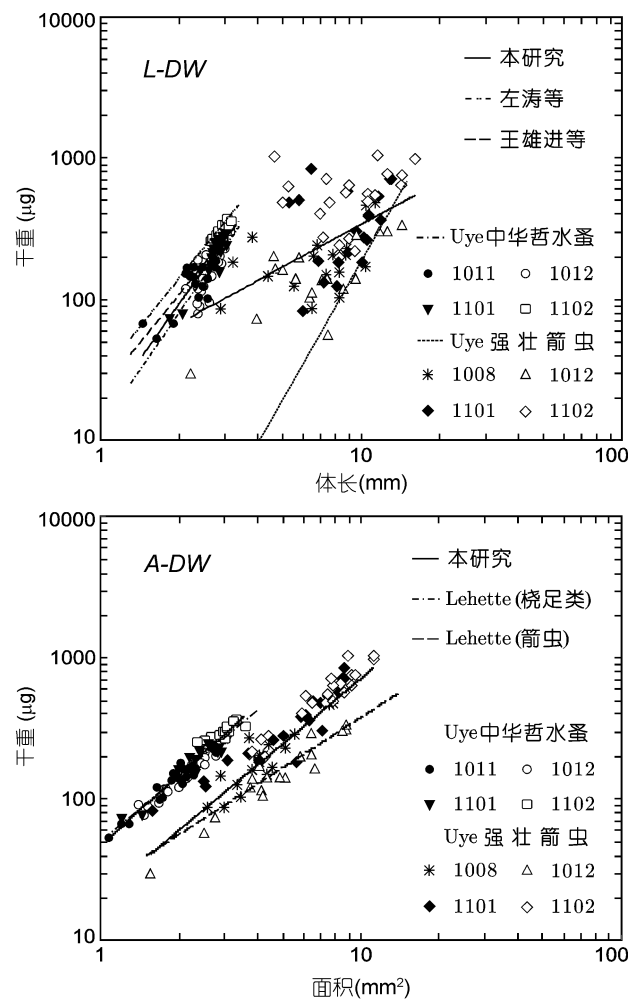


图 4 本研究体长和面积与干重回归关系结果与其他学者研究结果比较

Fig.4 Comparison in the relationships of this study to other researchers'

作复杂，数据处理量大，现在尚未得到普遍使用，但是随着技术发展，全息技术可以更准确地测量生物

体型。在当前技术条件下, 基于图像扫描技术的浮游动物体型-生物量转换是一种较精确可靠的手段。

参 考 文 献

- 王雄进, 康洁生, 李 松, 1988. 厦门港中华哲水蚤体长、体重和碳、氮、氢含量的季节变化. 台湾海峡, 7(2): 173—188
- 左 涛, 王 克, 李超伦, 2003. 南黄海中华哲水蚤体长-干重的关系. 水产学报, 27: 103—107
- 孙 松, 周 克, 杨波等, 2008. 胶州湾浮游动物生态学研究 I. 种类组成. 海洋与湖沼, 39(1): 1—7
- 杨 波, 徐汉光, 1988. 黄海主要桡足类的生物量. 大连水产学院学报, 11: 35—42
- 林雅蓉, 王 荣, 高尚武, 1987. 胶州湾桡足类的生物学研究 II. 小拟哲水蚤的个体重量测定及体长-体重关系. 海洋科学, 5: 41—44
- Banase K, 1995. Zooplankton: pivotal role in the control of ocean production. *ICES Journal of Marine Science*, 52: 265—277
- Be A H, Forns J M, Roels O A, 1971. Plankton Abundance in the North Atlantic Ocean. In: *Fertility of the Sea*. New York: Gordon and Breach Science Publication, 17—50
- Burkill P H, Edwards E S, John A *et al*, 1993. Microzooplankton and their herbivorous activity in the Northeastern Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research*. II, 40: 479—493
- Costlow J D, 1971. *Fertility of the sea*. New York: Gordon and Breach Science Publication 1: 17—50
- Dietrich A, Uhlig G, 1984. Stage specific classification of copepods with automatic image analysis. *Crustaceana*, 3: 159—165
- Frederiksen M, Richardson A J, Halliday N C *et al*, 2006. From plankton to top predators: bottom-up control of a marine food web across four trophic levels. *Journal of Animal Ecology*, 75(6): 1259—1268
- Gorsky G, Guibert P, Valenta E, 1989. The autonomous image analyzer: enumeration, measurement and identification of marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 58: 133—142
- Gorsky G, Ohman M D, Picheral M *et al*, 2010. Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated system. *Journal of Plankton Research*, 32: 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
- Halliday N A, 2001. Comparison of morphometric and geometric methods for the estimation of individual zooplankton volumes. *Sarsia*, 86(2): 101—105
- Harris R P, Wiebe P E, Lenz J *et al*, 2000. *ICES Zooplankton Methodology Manual*. London: Academic Press, 83—192
- Jeffries H P, 1984. Automated sizing, counting and identification of zooplankton by pattern recognition. *Marine Biological*, 78: 329—334
- Katz J, Donaghay P L, Zhang J *et al*, 1999. Submersible holocamera for detection of particle characteristics and motions in the ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Pages*, 46(8): 1455—1481
- Legendre P, Legendre L, 1998. *Numerical Ecology*. New York: Elsevier, 853
- Lehette P, Hernandez-leon S, 2009. Zooplankton biomass estimation from digitized images: a comparison between subtropical and Antarctic organisms. *Limnology & Oceanography: Methods*, 7: 304—308
- Ortner P B, Hill L C, Edgerton H E, 1981. In-situ silhouette photography of Gulf Stream zooplankton. *Deepsea Research*, 28A: 1569—1576
- Ortner P B, Cumming S R, Sfring R P *et al*, 1979. Silhouette photography of oceanic zooplankton. *Nature*, 277: 50—51
- Reid G, Fuglister E, Jordan J, 1970. Phytoplankton taxonomy and standing crop. *Bulletin Scripps Institution of Oceanography. Technical Series*, 17: 51—66
- Richardson A J, Schoeman D S, 2004. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science*, 305: 1609—1612
- Ricker W E, 1973. Linear regression in fishery research. *Journal of Fishery Research Board Canada*, 30: 409—434
- Rolker M, Lenz J, 1984. Size structure analysis of zooplankton samples by means of an automated image analyzing system. *Journal of Plankton Research*, 6: 637—645
- Uye S, 1982. Length-Weight relationships of important zooplankton from the Inland Sea of Japan. *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, 38: 149—158
- Wiebe P H, Boyd S, Cox J L, 1975. Relationships between zooplankton displacement volume, wet weight, dry weight, and Carbon. *Fish Bull*, 73: 777—786

RELATIONSHIP BETWEEN SHAPE PARAMETERS AND DRY WEIGHT OF THE DOMINANT ZOOPLANKTON IN JIAOZHOU BAY BASED ON IMAGE METHOD

SUN Song^{1,2}, BI Yong-Kun^{1,3}, SUN Xiao-Xia¹

(1. Jiaozhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Qingdao, 266071; 2. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049)

Abstract This study estimates regressions between shape parameters that contained length, area and volume were obtained from image scanned by ZooScan, and dry weight with dominant zooplankton of *Calanus sinicus* and *Sagitta crassa* in Jiaozhou Bay. This study intends to reveal the differences of regressions established by various parameters in several seasons. The results show that there are no significant difference in regressions of different months and area, which is recommended as the optimum parameter in image method. The regressions of shape parameter-biomass of *C. sinicus* and *S. crassa* are: $\lg DW = 1.61 \lg A + 1.69$, $\lg DW = 1.54 \lg A + 1.32$.

Key words Image, Dry weight, Length, Area, Volume