

## 浮游动物生物量和能量研究中的一些转换系数\*

SOME EQUIVALENTS IN THE STUDY OF ZOOPLANKTON  
BIOMASS AND ENERGY

张武昌 王克 肖天

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

浮游动物的生物量是海洋浮游动物研究的重要内容。浮游动物的生物量包括以下内容：沉降体积(SV)、无水体积(DV)、湿重(WM)、干重(DM)、无灰干重(AFDM)、含碳(或氮)量和主要有机物(蛋白质、脂类和碳水化合物)的含量。在一些研究中,含能量比生物量更受重视。

目前,我国常用湿重来表达生物量,但是在许多研究中需要知道浮游动物生物量的其他内容。获得这些数据的最准确的方法是测定,但是,测定过程费时而且费用是昂贵的。所以,在大多数研究中,并不测定这些内容,而是通过文献提供的系数,将DV、WM、DM等易于测量的内容转化为不易测量的内容。本文就简要介绍文献中将体积(V)、WM、DM转化为AFDM、元素含量和含能量的一些系数,以帮助了解浮游动物生物量较深层次的内容。

## 1 沉降体积(SV)

在早期的研究中,使用SV来估计浮游动物的生物量。SV就是将采到的浮游动物样品用固定剂固定,倒入量筒之中,自然重力作用下沉淀24h,沉淀物的体积即为SV。如果浮游动物样品具有长的附肢,含有较多的胶质生物,或动物有一定的浮力,这种方法的准确性就会受到影响。大的水母应该取出另行处理。SV是浮游动物和间隙水的总体积。

## 2 无水体积(DV)

SV减去间隙水的体积就是DV。测量DV有两种办法:(1)将除去间隙水的浮游动物样品加入盛有液体的量筒中,增加的读数即为DV;(2)将固定的样品倒入量筒中测定总体积,过滤样品,测量滤液的体积,总体积减去滤液的体积即为DV。在没有胶质浮游动物时,DV约占SV的比例为35%,含有胶质浮游动物时,DV约占SV的比例为6%。

## 3 重量

19世纪末期,Hensen于1887年尝试用浮游动物样品的重量(湿重和干重)表示生物量。在这里,重量并不是物理学上(重)力的概念,而是指物质。浮游动物的重量可以分为活重、鲜重、湿重、干重和无灰干重等。

活重是指生物体生活时的重量,鲜重是指没有经过固定处理或冷冻处理的样品的重量,湿重是指除去间隙水的浮游动物样品的重量,一般为固定剂固定的样品。垂死的浮游动物会发生收缩,排除一些有机质,所以鲜重会比活重要小一点。从理论上讲,活重是无法称量的。在固定的过程中,浮游动物会失去一些物质,保存的时间越长,失去的物质越多,湿重就越小。

除去体内水分的浮游动物的重量为干重。除去水分的方法一般为60℃烘干24h。

ICES术语和系数委员会[ICES(International Council for the Exploration of the Sea)Committee on Terms and Equivalents]推荐的干重、湿重和SV、DV的转换系数为:195 mg WM cm<sup>-3</sup> SV(即每cm<sup>3</sup>沉降体积中含湿重195 mg),26 mg DM cm<sup>-3</sup> SV,800 mg WM cm<sup>-3</sup> DV和160 mg DM cm<sup>-3</sup> DV<sup>[1]</sup>。

根据Cushing 1958年的测定,不同的类群,水分占湿重的比例不同,翼足类为69%,桡足类为84%,

\* 国家重点基础研究专项经费G19990437资助。

第一作者:张武昌,出生于1973年,博士,副研究员。目前在研项目:国家自然科学基金资助项目“可见光和紫外线对中华哲水蚤几种行为的影响”;国家重点基础研究规划项目“东黄海生态系统动力学与生物资源可持续利用研究。”  
E-mail:W.C.zhang@yeah.net

收稿日期:2000-05-08;修回日期:2000-06-29

表 1 一些浮游动物类群的灰重占干重的比例和元素组成

浮游动物类群	灰重 (%)	C (%)	N (%)	H (%)	海区	作者
中型浮游动物	27.0 ± 19.5	14.8~42.8	1.8~5.6	2.9~6.4	Kiel Bight	Brandt 1898 年
桡足类	-	-	9.2	-	同上	
翼足类	28.5~46.6	17.0~29.0	1.5~6.0	1.1~3.8	北太平洋	Omori 1969 年
端足类	10.0~37.7	25.9~48.4	6.1~8.2	4.4~7.5	同上	
十足类	11.9	41.1	9.3	6.7	同上	
糠虾	10.2	42.4	11.0	6.7	同上	
磷虾	8.0~8.5	38.7~47.2	10.0~10.7	6.7~7.6	同上	
桡足类	1.9~6.4	39.0~66.6	5.1~13.1	6.7~10.3	同上	
毛颚类	4.2~4.8	43.5~47.7	10.7~11.1	7.2~7.6	同上	
被囊类	77.1~69.0	7.2~10.4	0.3~1.5	-	纽约南部大陆架	Curl 1962 年
栉水母	75.0~70.9	6.4	0.2~1.1	-	同上	
腔肠动物	69.0~49.1	8.2~22.5	0.4~1.4	-	同上	
翼足类	64.2~24.3	26.3~28.3	2.2~5.0	-	同上	
哲水蚤类	22.8~17.6	32.5~41.7	4.7~7.1	-	同上	
磷虾	22.4~18.6	33.4~37.0	5.2~7.1	-	同上	
毛颚类	21.6	-	7.8	-	同上	
		C	N	P		
被囊类	-	4.2~62.3	0.4~13.9	0.05~0.20		Schneider 1989 年和 1990 年
纽鳃樽	-	4.2~11.6	0.4~2.8	-		同上
幼形类被囊动物	-	50.4~62.3	11.3~13.9	-		同上
腔肠类, 栉水母类	-	0.9~32.4	0.02~11.0	0.02~0.44		同上
桡足类	-	32.2~67.5	5.1~13.1	0.53~1.96		同上
磷虾, 糠虾	-	31.1~55.4	6.2~12.1	0.75~2.60		同上
十足类	-	23.4~59.6	3.8~11.7	-		同上
其他甲壳类	-	22.5~48.4	4.0~10.8	0.64~2.26		同上
软体动物	-	17.0~52.0	1.5~10.4	0.23~0.60		同上
毛颚类	-	19.3~52.0	5.4~15.0	0.37~0.95		同上
胶质浮游动物						
水螅水母类	50~80	3~15	<1~5	-		Larson 1986 年
栉水母类	65~80	<1~5	<1~1	-		同上
海樽	65~80	4~10	1~3	-		同上
半胶质浮游动物						同上
毛颚类	-	15~40	5~10	-		同上
软体动物	25~60	20~30	2~4	-		同上
多毛类	-	35	9	-		同上
非胶质浮游动物	15~35	30~60	<1~5	-		同上
0.1 mg DM	20	20	0.40	-	西班牙西北部 上升流区, 桡足 类占浮游动物的 90%	Bode A., 等 1998 年
1.0 mg DM	19	22	0.46	-	同上	
10.0 mg DM	20	29	0.51	-	同上	
100.0 mg DM	22	38	0.57	-	同上	
粒级						
55~100 μm	35.5 ± 21.1				安哥拉和纳米比亚 外海(1997 年 4 月)	
100~200 μm	28.2 ± 18.8	-	-	-	同上	
200~500 μm	22.8 ± 21.6	-	-	-	同上	
500~1 000 μm	12.4 ± 8.5	-	-	-	同上	
>1 000 μm	28.7 ± 15.6	-	-	-	同上	

毛颚类和十足类为 87%，胶质浮游动物如腔肠动物、栉水母类和被囊类超过 99%。ICES 术语和系数委员会使用的浮游动物干重占湿重的比例为 0.20。

据 Omori and Ikeda 1984 年, 无灰干重又称为干有机质, 干重减去灰份即为无灰干重。灰份是指所有的无机物质, 将浮游动物样品放于马弗炉中灼烧至少 12 h, 剩下的成分即为灰份。不同的种类灰份的含量也不一样(表 1)。

#### 4 元素组成

分析浮游动物的元素组成主要是为了粗略估计生化组成 (Biochemical composition)。生化组成是指主要有有机物(蛋白质、脂类和碳水化合物)的含量。各类有机物中含有的 C 的比例大致相同, 而 N 主要存在于蛋白质中, P 主要存在于脂类中。有机碳占浮游动物干重的 40%, 有机氮和氢占 10% 左右, 有机磷不超过 1% (表 1)。

虽然浮游动物的元素组成和生化组成(主要有有机物的含量)之间没有比较确定的关系, 但是, 各种元素的比例被认为是浮游动物生理状况的一个线索。一般认为, C:N 比值可以显示主要有有机成分(蛋白质和非蛋白质组分)的组成。因为碳水化合物在浮游动物组织中含量并不显著, 所以 C:N 比主要显示蛋白质和脂类的组成。C:N 高于 2.9 时说明有脂类存在。在北太平洋, C:N 在 3.5~13.2 之间, 在 Kiel Bight (波罗的海), 中型浮游动物的 C:N 在 6.1~13.4 之间, 高值出现在秋冬季节, 低值出现在晚春。

根据不同浮游动物类群碳、氮和磷的含量 (% DM), Schneider 于 1989 年和 1990 年估计了 3 种元素的原子比例(表 2)。

表 2 浮游植物和一些浮游动物类群中 C, N 和 P 元素的原子比例

生物类群	C:N:P	C:N:P
浮游植物	100:15.1:0.94	106:16:1
非胶质浮游动物		
桡足类	100:19.0:0.77	129:25:1
磷虾、糠虾	100:21.1:1.19	84:18:1
其他甲壳类	100:17.6:1.40	71:13:1
半胶质浮游动物		
软体动物	100:16.1:0.51	195:31:1
毛颚类	100:22.9:0.73	137:31:1
胶质浮游动物		
腔肠动物, 栉水母类	100:22.1:0.60	166:37:1
纽鳃樽	100:15.8:0.67	149:24:1

注: 中间一栏将 C 设为 100, 右边一栏将 P 设为 1, 仿 Harris 等, 2000 年

1986 年, Larson 根据元素组成将海洋浮游动物分为 3 类: 胶质浮游动物含有较少的氮和碳, 含量变化大, 包括腔肠动物, 栉水母类, 纽鳃樽; 非胶质浮游动物, 含有较多的元素, 含量变化不大, 包括甲壳类和幼形类被囊动物; 半胶质浮游动物的元素含量居上述两者之间, 包括软体动物和毛颚类。

ICES 术语和系数委员会使用的几个转换系数为: 碳占湿重的比例为 0.12, 氮占湿重的比例为 0.020, 磷占湿重的比例为 0.0016; 碳占干重的比例为 0.60, 氮占干重的比例为 0.10, 磷占干重的比例为 0.008; N:C(重量比)为 0.17, P:C(重量比)为 0.013, P:N(重量比)为 0.078。

#### 5 生化组成

蛋白质构成了有机物干重的 50% 以上, 其次是脂类, 碳水化合物低于 15%。一般认为, 蛋白质、脂类和碳水化合物分别占 DM 的 50%, 22% 和 5%, 占 AFDM 的 65%, 29% 和 6%。

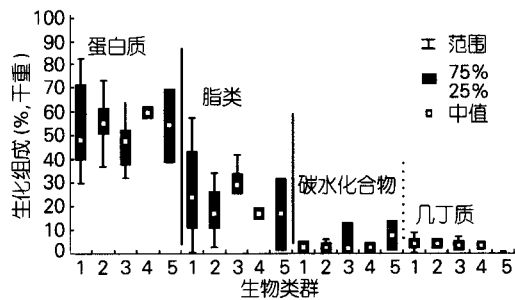


图 1 桡足类(1)、磷虾(2)、糠虾(3)、十足类(4)和毛颚类(5)的生化组成(仿 Harris 等, 2000 年)

图 1 是蛋白质、脂类、碳水化合物和几丁质占浮游动物干重的比例的示意图。在图 1 中, 上述几个组分在桡足类中变化较大, 原因可能有: 滤食性和掠食性种类的饵料不同, 各个种类的生境不同, 季节的变化等。深水和极区的种类含有较多的脂类, 反之亦然。

按蛋白质标准组成 ( $C_{24}H_{38}N_6O_8$ )<sub>n</sub>, 可以使用“Kjel-dahl”系数 6.25 (= 100/16) 将有机氮转化为蛋白质 (因为氮的质量是蛋白质总分子量的 16%)。使用这个系数要满足下列条件: 蛋白质的构成符合标准组成; 氮只存在于蛋白质中。

#### 6 含能量

从理论上讲, 有机体的含能量为 22.6 J/mg

AFDM。处于脂肪的含能量( $38 \text{ J mg}^{-1}$  AFDM)和碳水化合物含能量( $17.2 \text{ J mg}^{-1}$  AFDM)之间。在自然界中,大多数水生生物的组织含能量为  $21.8 \sim 25.1 \text{ J mg}^{-1}$  AFDM。浮游生物的含能量为  $18.7 \sim 31.1 \text{ J mg}^{-1}$  AFDM。浮游动物的性别和生理状况可能引起含能量的变化。例如,哲水蚤 *Euchaeta norvegica* 雌体含能量为  $5 \text{ J mg}^{-1}$  DM, 而卵只有  $1 \text{ J mg}^{-1}$  DM。

如果知道主要有机物质的生化组成(百分比), 可以通过脂类、蛋白质和碳水化合物的能量转换系数来估计含能量。1945年, Brody 按以下假设计算: 浮游动物的灰重占 DM 的 23%, AFDM 占 DM 的 77%; 蛋白质、脂类和碳水化合物分别占 DM 的 50%, 22% 和 5%, 占 AFDM 的 65%, 29% 和 6%; 假设蛋白质、脂类和碳水化合物的能量转化系数为 23.7, 39.4 和 17.2, 那么生物体的含能量为  $21.4 \text{ J mg}^{-1}$  DM 或  $27.9 \text{ J mg}^{-1}$  AFDM。因为脂类, 蛋白质和碳水化合物能量转化系数是完全氧化的结果, 而生物体内的反应可能是不完全氧化, 实际使用的能量转化系数可能要低一点。Beukema 1997 年使用蛋白质、脂类和碳水化合物

的能量转化系数为 21.4, 35.6 和 17.2, 得出生物体的含能量为  $19.4 \text{ J mg}^{-1}$  DM 或  $25.3 \text{ J mg}^{-1}$  AFDM。

据 Salonen 等 1976 年报道, 含能量还可以通过有机碳的含量来粗略估计, 转换系数为  $1 \text{ g C} = 46 \text{ kJ}$ 。

## 7 结语

如上所述, 浮游动物的元素含量、有机物含量和含能量都有很大的变化范围, 海区、季节和测量方法的差异都会引起上述系数的变化。所以尽管有一些转换系数被浮游动物研究领域共同使用, 但是, 这并不表明这些系数绝对正确, 或适合于任何海区、任何季节的研究。最好每次研究都测定这些转换系数。我国很少测定上述几个系数, 我国的浮游动物研究者应该在这些方面做一些努力。

## 参考文献

- 1 Harris R. P., Wiebe P. H., Lenz, J. et al.. Zooplankton Methodology Manual. San Diego, California, USA: Academic Press, 2000.

(本文编辑: 刘珊珊)