

浮游植物生物量研究*

I. 浮游植物生物量细胞体积转化法

孙 军 刘东艳 钱树本

(青岛海洋大学海洋生命学院, 青岛 266003)

摘 要 在海洋生态动力学研究过程中, 采用浮游植物细胞数量来估算浮游植物丰度可以说是不够精确的, 因为不同种的浮游植物细胞大小差别很大, 只有浮游植物的生物量才能正确反映海洋生态系中的能量分布. 本文以拟合浮游植物细胞相似体积方法, 基于胶州湾生态动力学研究所获资料, 计算了87种中国近海常见浮游植物的细胞体积、鲜重、碳含量、氮含量.

关键词 浮游植物 细胞体积 细胞质体积 生物量 碳含量

1 引言

浮游植物是海洋生态系中主要的初级生产者, 它们将无机物通过光合作用转化为有机物, 从而启动了海洋生物的食物网. 以往, 浮游植物现存量通常是由细胞数量来表示的, 并建立了浮游植物动力学的4个基本物征; 现存量是随着海水深度、季节和地域而变化的, 以及存在着种类的交替过程. 因为浮游植物种内和种间细胞大小的不同, 尤其是不同种浮游植物细胞大小的不同, 在研究海洋生态系动力学过程中单纯用浮游植物的细胞数量来反映某海域浮游植物现存量是有问题的. 在数量上相对不重要的种, 在生物量上有可能很重要, 因此, 用细胞数量来表示现存量会过高估算细胞体积小的种类的贡献, 而过低估算细胞体积大的种类的贡献. 而且, 细胞数量对于浮游植物现存量在食物链和营养对策等方面的分析所起的作用也是有限的, 重要的还是碳含量、氮含量等有关指标. 因此, 浮游植物生物量的测算比细胞数量的测算显得更为重要. 生物量可以通过测定叶绿素、ATP、碳含量、氮含量等方法获得, 也可间接从细胞体积转化为生物量而获得. 除细胞体积转化以外的上述4种方法可从不同角度获较精确的浮游植物现存量, 但它们无法反映浮游植物的群落结构和不同种及同种不

本文于1997-08-25收到, 修改稿于1988-03-15收到.

* 国家自然科学基金资助项目(编号:49376277), 同时得到国家教委的资助(胶州湾生态动力学——“九五”重大项目预研究).

第一作者简介: 孙 军, 男, 26岁, 助教, 硕士, 现主要从事海洋浮游植物分类学和生态学的教学和研究.

同大小的浮游植物生物量的贡献,从而无法解释现存量时空变化的内在原因.只有通过测量浮游植物细胞个体对浮游植物细胞体积后转化的生物量既能较正确地反映浮游植物现存量又能清楚地了解浮游植物的群落结构、种类组成、优势种、种类交替及不同大小细胞对浮游植物生物量的贡献. Mullin 等^[1]在测定了不同浮游植物细胞的碳含量、细胞体积、细胞表面积后,发现细胞体积比细胞表面积能更好地与细胞碳含量相关. Mullin, Strathmann, Eppley, Taguchi 等建立了浮游植物细胞体积和细胞碳含量的回归方程^[1~7]. 因此,在此基础上若能得知各浮游植物细胞计数结果,就不仅能获得各种浮游植物的生物量,而且对浮游植物群落结构有一个较全面的了解,可以进一步了解浮游植物生物量时空变化的自身原因,这对深入研究生态系统中能量流动及食物网变化有重要意义.

本文以胶州湾生态动力学调查的原始资料为基础,用一个或几个与浮游植物细胞相似的形状拟合各种浮游植物细胞形状,获得较精确的浮游植物细胞体积.在此基础上计算了中国近海常见87种浮游植物细胞的体积、鲜重、碳含量、氮含量;然后计算了胶州湾水体中总的浮游植物生物量(碳含量),并将生物量与细胞计数结果、同步采样的叶绿素 a 结果作了比较.

2 材料与方 法

按照《海洋调查规范》的要求,于每个调查站位用小型浮游生物网采样、样品鉴定及细胞计数. 随机选每个种的25个个体,测定线性参数,部分种类参考经典分类学专著中的线性数据,计算每个种的细胞体积和细胞质体积,将细胞体积乘以1.1^[8]后转化为鲜重,最后用回

归方程计算每个种的细胞碳含量和氮含量^[1~5].

2.1 采样、鉴定和细胞计数

样品1995年3月至1996年1月来自胶州湾,每两月取一次样,站位见图1. 1995年3~11月每航次设有8个大面站和1个连续站,最后一航次(1996年1月)为6个大面站.

采样工具为小型浮游生物网(网口直径37 cm,网口面积0.1 m²,网身长270 cm,网目76 μm),采样方式为在每个调查站位自底至表垂直拖网一次. 样品用5%甲醛固定和保存. 结合联合国教科文组织推荐的《浮游植物手册》,进行浮游植物种类鉴定和浮游植物细胞计数.

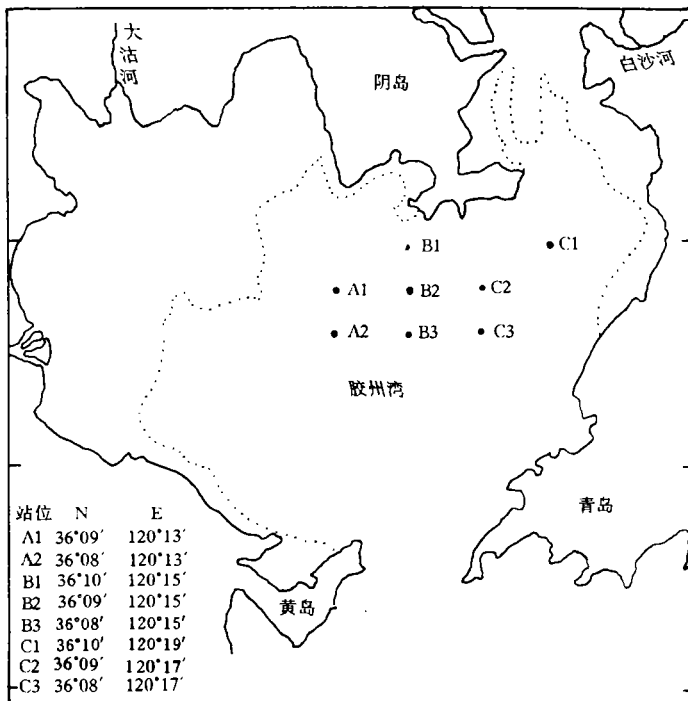


图1 调查站位图

2.2 浮游植物细胞体积和表面积的计算

首先确定不同种类浮游植物细胞的相似几何形状, 然后测量每种细胞的线性参数, 少数种类的线性参数则参考分类学专著, 用于计算细胞体积的相似形状列于表 1.

2.3 计算浮游植物细胞质体积

单个浮游植物细胞质体积用表 2 方法计算.

表 2 计算不同细胞表面积与体积比 ($\mu\text{m}^2:\mu\text{m}^3$) 的硅藻细胞质体积 (PV) 的假设细胞质层厚度 (CL)^[9]

PV (细胞质体积) = SA (细胞表面积) $\times CL$ (细胞质层厚度) + $0.1 \times V$ (细胞体积)				
$SA \cdot V / \mu\text{m}^2 : \mu\text{m}^3$	> 0.9	0.51 ~ 0.89	0.35 ~ 0.50	< 0.35
$CL / \mu\text{m}$	$PV = V$	1.0	1.5	2.0

2.4 计算浮游植物细胞鲜重、碳含量、氮含量

单个浮游植物细胞生物量用表 3 方法计算.

$$LW (\text{鲜重}) = V (\text{细胞体积}) \times 1.1.$$

表 3 浮游植物细胞生物量的计算公式

公式提出者	硅藻	其他微藻
Mullin 等 (1966) ^[1]	$\log_{10}C = 0.784 \cdot \log_{10}V - 0.427$	$\log_{10}C = 0.784 \cdot \log_{10}V - 0.427$
Strathmann (1967) ^[2]	$\log_{10}C = 0.758 \cdot \log_{10}V - 0.422$	$\log_{10}C = 0.866 \cdot \log_{10}V - 0.460$
Eppley 等 (1970) ^[3]	$\log_{10}C = 0.76 \cdot \log_{10}V - 0.352$	$\log_{10}C = 0.94 \cdot \log_{10}V - 0.60$
Taguchi (1976) ^[4]	$\log_{10}C = 0.74 \cdot \log_{10}V - 0.58$	
Strathmann (细胞质, 1967) ^[5]	$\log_{10}C = 0.892 \cdot \log_{10}PV - 0.61$	
Taguchi (1976) ^[6]	$C:N = 0.72 \cdot \log_{10}V + 1.31$	

V 代表细胞体积 (μm^3); C 代表每个细胞碳含量的皮克数; PV 代表细胞质体积.

3 结果与讨论

3.1 种名录和细胞生物量

基于所获线性参数和表 1、表 2、表 3 的方法, 本文计算了胶州湾浮游植物细胞的细胞体积、细胞质体积、鲜重、碳含量、氮含量, 结果示于表 4.

不同种类浮游植物细胞大小、形态差异很大, 所以选择何种几何形状去拟合细胞体积是非常重要的, 它决定了什么线性参数需被测量, 用什么公式计算体积. 用一些合适的规则几何形状如圆球、圆柱、椭圆柱、圆台等组合起来去拟合细胞体积, 一方面可减少计算的复杂程度, 另一方面可最大限度地防止由于拟合体积和真实体积之间的误差带来的生物量误差.

在计算体积时, 应随机选取至少 25 个细胞进行测量, 每个细胞体积应单独计算, 然后得出平均体积. 不能用线性参数的平均值来计算单个细胞体积, 这样可防止细胞生物量出现较大误差. 虽然, 用拟合形状来计算的每种浮游植物细胞体积有可能与每种浮游植物细胞真实个体不能完全符合, 会出现或大或小的结果, 但是由于每个样品中含有不同种的浮游植物, 这样可以一定程度上减少总体误差. 总之, 减少误差的关键在于相似形状的选取正确、线性参

表 4 胶州湾浮游植物细胞体积 (V)、细胞质体积 (PV) 细胞鲜重 (LW) 细胞碳含量 (C)、每个细胞氮含量 (N)

种 名	V/ μm^3	PV/ μm^3	LW/ μg	C/pg Mullin 等	C/pg Strathmann	C/pg Eppley 等	C/pg Taguchi	C/pg Strathmann (细胞质)	N/pg Taguchi
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	7 355	6 433.8	8 090.5	402.161 8	322.752 5	386.013 8	191.104 6	612.566 2	46.679 88
<i>Asterionellopsis kariana</i>	3 297	3 125.7	3526.7	214.390 4	175.684 8	209.783 1	105.537 8	321.731 1	27.462 02
<i>Bacillaria paxillifera</i>	6 321	2 528.4	6 953.1	357.121 6	287.736 9	344.030 7	170.836 8	266.279 9	42.217 73
<i>Bacteriastrium hyalinum</i>	10 453.6	6 384.3	114 98.96	529.790 8	421.311 7	504.245 5	247.888 7	608.360 6	58.966 77
<i>Bacteriastrium mediterraneum</i>	8 659	5 549.9	9 524.9	457.061 6	365.258 7	436.994	215.638 4	536.911 1	52.024 03
<i>Bacteriastrium varians</i>	9 525	4 160.5	10 477.5	492.527 1	392.626 5	469.8264	231.398 3	45.219 6	55.427 62
<i>Bellerophon malleus</i>	57 750	35 275	63 525	2 023.284	1 539.063	1 848.33	878.109 1	2 794.735	185.320 9
<i>Biddulphia regia</i>	1 150 250	154 129	1 265 275	21 118.41	14 862.11	17 955.69	8 035.007	10 413.41	1 416.167
<i>Chaetoceros affinis</i>	6 082	6 082	6 690.2	346.491 3	279.452	334.099 1	166.033	582.598 6	41.153 16
<i>Chaetoceros affinis</i> var. <i>williei</i>	2 027	2 027	2 229.7	146.410 9	121.505 3	144.946 9	73.632 88	218.631 9	19.949 66
<i>Chaetoceros brevis</i>	15 773	10 697.3	17 350.3	731.416 6	575.465 2	689.310 5	336.090 8	964.078 9	77.574 36
<i>Chaetoceros castracanei</i>	8 953.5	8 953.5	9 848.85	469.204 7	374.636 9	448.244 1	221.041 9	822.579	53.193 46
<i>Chaetoceros compressus</i>	3 619.1	3 619.1	3 981.01	230.644 4	188.546 8	225.183 4	113.074 4	366.666 9	29.201 66
<i>Chaetoceros constrictus</i>	9 698	9 698	10 667.8	499.526 8	398.020 2	476.297 7	234.501 1	883.325	56.095 21
<i>Chaetoceros costatus</i>	6 289	4 213 6	6 917.9	355.703 4	286.632 1	342.706 2	170.196 4	419.943 4	42.075 97
<i>Chaetoceros curviseus</i>	6 800	6 188	7 480	378.169 9	304.117 7	363.669 4	180.325 3	591.647 3	44.312 43
<i>Chaetoceros danicus</i>	5 080	5 080	5 588	300.882 7	243.806 2	291.377 8	145.324 6	496.169 9	36.530 04
<i>Chaetoceros debilis</i>	4 167	3 000.2	4 583.7	257.597 5	209.81	250.648 9	125.507 4	310.183	32.047 67
<i>Chaetoceros decipiens</i>	25 447	25 447	27 991.7	1 064.19	826.937 2	991.4797	478.818 7	2 088.468	106.830 1
<i>Chaetoceros decipiens</i> f. <i>singularis</i>	13 854	13 854	15 239.4	660.685 8	521.571 7	624.593	305.327 3	1 214.186	71.139 79
<i>Chaetoceros densus</i>	47 124	47 124	51 836.4	1 275.13	1 319.221	1 583.668	755.4386	3618.528	161.600 3
<i>Chaetoceros denticulatus</i>	102 969	76 711.9	113 265.9	3 183.918	2 385.786	2 868.514	1 347.109	5 588.53	273.850 1

续表

种 名	V/ μm^3	PV/ μm^3	LW/pg	C/pg Mullin 等	C/pg Strathmann	C/pg Eppley 等	C/pg Taguchi	C/pg Strathmann (细胞质)	N/pg Taguchi
<i>Chaetoceros didymus</i>	11 614	11 614	12 775.4	575.368 1	456.306	546.243 4	267.970 2	1 037.442	63.248 46
<i>Chaetoceros eibonii</i>	171 645	171 645	188 809.5	4 752.814	3 514.394	4 229.799	1 966.197	11 462.81	387.127 9
<i>Chaetoceros laciniatus</i>	16 336	16 336	17 969.6	751.806 8	590.968 7	707.930 7	344.927 5	1 406.455	79.412 98
<i>Chaetoceros laudertii</i>	6 609	4 824.6	7 269.9	369.816 6	297.620 5	355.879 7	176.563 3	473.857 2	43.483 17
<i>Chaetoceros lorentzianus</i>	43 825	43 825	48 207.5	1 629.709	1 248.605	1 498.679	715.936	3 391.688	153.897 2
<i>Chaetoceros muelleri</i>	232	232	255.2	26.763 48	23.498 49	27.910 71	14.806 8	31.623 89	4.914 057
<i>Chaetoceros nipponica</i>	10 603	8 779.5	11 663.3	535.717 9	425.868	509.713 2	250.505 5	808.304 6	59.52 641
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	58 936	47 443.5	64 829.6	2 055.789	1 562.962	1 877.108	891.418 6	3 640.404	187.877 7
<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	5 654	5 654	6 219.4	327.225 4	264.414 8	316.075 2	157.305 3	545.885 3	39.211 66
<i>Chaetoceros siamense</i>	15 079	12 364.8	16 586.9	706.064	556.168 5	666.136 3	325.084 1	1 097.061	75.278 33
<i>Chaetoceros subsecundus</i>	5 992	4 134.5	6 591.2	342.465 1	276.311 8	330.335	164.211 3	412.904 2	40.748 73
<i>Chaetoceros tortissimum</i>	13 685	9 032.1	15 053.5	654.358 8	516.741 8	618.793 9	302.566 7	829.017 2	70.559 68
<i>Chaetoceros van heurkii</i>	11 879	11 879	13 066.9	585.635 5	464.176 5	555.690 2	272.481 6	1 058.531	64.206 35
<i>Climacodium frauenfeldianum</i>	251 327	95 504.2	276 459.7	6 408.959	4692.251	565 1.734	2 607.216	6 794.853	501.563 9
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	7 516 623	1 202 659.7	8 268 285	92 002.97	61 663.09	74 778.6	32 229.74	65 085.96	5 147.916
<i>Coscinodiscus centralis</i>	3 332 286	584 464.9	3 665 515	48 621.24	33 284.06	40 298.68	17 653.44	34 193.89	2 939.117
<i>Coscinodiscus gigas</i>	612 675 38	7 873 268.8	67 394 292	476 638	302 496.7	368 379.2	152 247.2	347 832.6	22 011.26
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	4 349 897	734 649.3	4 784 887	59 919.41	40 734.94	49 345.1	21 501.78	41 931.79	3 530.841
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	3 438 957	445 605.9	3 782 853	49 837.77	34 088.78	41 274.74	18 069.9	26 845.05	3 003.527
<i>Dactylosolen mediterraneus</i>	19 085	10 305.9	20 993.5	849.303	664.912 7	796.757 3	387.001 1	932.551 1	88.113 03
<i>Ditylum Brightwellii</i>	123 889	94 155.6	136 277.9	3 680.761	2 744.851	3 301.451	1 544.7	6 709.2	310.368 8
<i>Ditylum sal</i>	322 232	206 228.5	354 455.2	7 787.611	5 664.895	6 826.659	3 133.609	13 502.03	593.949 9
<i>Eucampyia zoodiacus</i>	31 809	13 359.8	34 989.9	1 267.65	979.338 7	1 174.73	564.79	1 175.475	124.079 6

续表

种名	$V/\mu\text{m}^3$	$PV/\mu\text{m}^3$	LW/pg	C/pg Mullin 等	C/pg Strathmann	C/pg Eppley 等	C/pg Taguchi	C/pg Strathmann (细胞质)	N/pg Taguchi
<i>Guinardia delicatula</i>	19 096	11 457.6	21 005.6	849.686 8	665.203 2	797.106 3	387.166 2	1 024.971	88.146 99
<i>Guinardia flaccida</i>	171 806	171 806	188 986.6	4 756.309	3 516.892	4 232.813	1 967.562	11 472.4	387.374 2
<i>Guinardia striata</i>	176 714	67 151.3	194 385.4	4 862.509	3 592.786	4 324.401	2 009.003	4 962.866	394.848 4
<i>Helicotheca tamesis</i>	20 000	6 800	22 000	881.064	688.939	852.625	400.647	643.573	90.916 9
<i>Hemiaulua sinensis</i>	21 052	12 210.2	23 157.2	917.195 7	716.236 4	858.426 2	416.137 7	1 084.818	94.089 81
<i>Lauderia annulata</i>	53 223	21 289.2	58 545.3	1 897.85	1 446.716	1 737.143	826.634 5	1 781.222	175.402 3
<i>Leptocylindrus danicus</i>	6 322	4 662.5	6 954.2	357.165 8	287.771 4	344.072 1	170.856 8	459.629 6	42.222 16
<i>Lithodesmium undulatum</i>	46 002	21 160.9	50 602.2	1 692.844	1 295.343	1 554.928	742.086 9	1 771.644	159.000 5
<i>Melosira sulcata</i>	5 575	4 348.5	6 132.5	323.635 4	261.609 6	312.713 1	155.675 8	431.915 5	38.848 1
<i>Meuniera membranacea</i>	33 697	21 566.1	37 066.7	1 326.269	1 023.091	1 227.353	589.41	1 801.873	128.977 5
<i>Odontella sinensis</i>	3 411 260	413 039	3 752 386	49 522.8	33 880.47	41 021.85	17 962.09	25 087.88	2 986.863
<i>Pleurosigma</i> + <i>Gyrosigma</i>	81 000	13 284	89 100	2 637.863	1 988.986	2 390.279	1 127.922	1 169.525	232.844
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	4 315	1 812.3	4 746.5	264.743 3	215.434 6	257.386 3	128.791 1	197.852 4	32.794 75
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	2 290 221	577 135.7	2 519 243	36 236.3	25 048.81	30 304.48	13 375.48	33 811.15	2 271.221
<i>Proboscia alata</i> f. <i>genuina</i>	63 612	38 167.2	69 973.2	2 182.602	1 656.085	1 989.251	943.232 8	2 998.249	197.802 9
<i>Proboscia alata</i> f. <i>gracilissima</i>	8 409	5 802.2	9 249.9	446.683 2	357.236 8	427.371 6	211.013 8	558.630 6	51.021 08
<i>Rhizosolenia indica</i>	1 780 560	384 601	1 958 616	29 746.53	20 697.69	25 027.82	11 102.27	23 541.24	1 910.759
<i>Rhizosolenia</i> heb. f. <i>semispina</i>	11 309	7 916.3	12 439.9	563.487 9	447.193 6	535.306 3	262.744 7	737.024 4	62.137 12
<i>Rhizosolenia imbricata</i>	1 555 088	373 221.1	1 710 597	26 750.75	18 678.86	22 580.51	10 043.81	22 918.9	1 741.28
<i>Rhizosolenia robusta</i>	15 823 024	2 436 745.7	17 405 326	164 908.5	108 408	131 661.9	55 908.03	122 189.7	8 609.861

续表

种 名	$V/\mu\text{m}^3$	$PV/\mu\text{m}^3$	$I/W/\mu\text{g}$	C/pg Mullin 等	C/pg Strathmann	C/pg Eppley 等	C/pg Taguchi	C/pg Strathmann (细胞质)	N/pg Taguchi
<i>Rhizosolenia setigera</i>	6 544	4 139.1	7 198.4	366.962	295.399 1	353.216 4	175.276 6	413.314	43.199 17
<i>Skeletonema costatum</i>	128.68	128.68	141.548	16.859 96	15.031 74	17.833 16	9.572 782	18.693 21	3.383 986
<i>Stephanophrix palmeriana</i>	1 150 486	237 000.1	1 265 535	21 121.8	14 864.42	17 958.49	8 036.227	15 285.36	1 416.366
<i>Stephanophrix turris</i>	264 208	73 449.8	290 628.8	6 665.084	4 873.433	5 870.552	2 705.453	5 376.054	518.902 3
<i>Synedra</i> spp.	56 549	44 108.2	62 203.9	1 990.22	1 514.74	1 819.043	864.558 6	3 411.232	182.714 5
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	6 305	6 305	6 935.5	356.412 7	287.184 7	343.368 7	170.516 7	601.615 6	42.146 88
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	1 734	1 473.9	1 907.4	129.543 2	107.944 2	128.729 3	65.598 87	164.540 8	18.011 2
<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>	19 050	9 829.8	20 955	848.081 6	663.988 3	795.646 6	386.475 8	894.025 4	88.004 93
<i>Thalassiosira rotula</i>	15 904	10 814.7	17 494.4	736.174 9	579.084 3	693.657 1	338.154 1	973.511 1	78.004 05
<i>Alexandrium tamarenis</i>	22 449.3	9 941.8	24 694.23	964.590 5	2 033.02	3 091.225			
<i>Ceratium furca</i>	19 456.8	10 058.9	21 402.48	862.247 6	1 796.122	2 702.26			
<i>Ceratium fusus</i>	12 839.5	8 127.4	14 123.45	622.446 1	1 253.149	1 828.248			
<i>Ceratium intemaditum</i>	9 543.9	7 958.4	10 498.29	493.293 2	969.265 2	1 383.383			
<i>Ceratium lineatum</i>	12 759.8	9 811.4	14 035.78	619.414 8	1 246.41	1 817.579			
<i>Ceratium tripos</i>	12 114.5	8 108.7	13 325.95	594.718 6	1 191.633	1 731.04			
<i>Dinophysis fortii</i>	42 279	19 317.5	46 506.9	1 584.462	3 517.418	5 604.763			
<i>Gonyaulax spiniformis</i>	14 123	7 333.1	15 535.3	670.722 3	1 360.933	1 999.546			
<i>Prorocentrum micans</i>	11 550	8 277.8	12 705	572.880 8	1 143.394	1 655.111			
<i>Prorocentrum conicum</i>	86 056.7	31 672	94 662.37	2 766.121	6 509.139	10 931.95			
<i>Prorocentrum pallidum</i>	40 639.6	15 507.7	44 703.56	1 536.089	3 398.992	5 400.233			
<i>Prorocentrum pentagonum</i>	40 452.84	18 453.6	44 498.12	1 530.552	3 385.461	5 376.901			
<i>Pyrophacus steinii</i>	56 549	26 808	62 203.9	1 990.22	4 524.806	7 366.809			

数准确、计算公式的合理。计算体积和表面积的公式见表 5。

3.2 计算生物量的方法

本文主要采用 Eppley 等的方法。从初步查阅的资料来看有 5 种计算浮游植物细胞碳含量的方法，它们是：Mullin 等^[1]、Strathmann^[2]、Eppley 等^[3]、Taguchi^[5]、Strathmann（用细胞质体积）^[2]等方法。Taguchi^[5]和 Mullin 等^[1]仅对硅藻进行了研究；Mullin 等^[1]用一个回归方程来求解所有浮游植物细胞碳含量和细胞体积的关系，而没有将硅藻与甲藻等不同门类区别研究。因为硅藻一般都有一个大液泡并具有较厚的硅质细胞壁，Strathmann^[2]的研究表明隐藻、绿藻、甲藻的碳含量高于同样体积的硅藻的量。这表明在研究浮游植物细胞体积与细胞碳含量之间关系时应将硅藻与其他类别的微藻区别对待。Strathmann 发现用细胞质体积转化成的生物量比细胞体积的更精确。这说明用细胞质体积来计算浮游植物细胞碳含量是最好的。然而 Strathmann 方法（用细胞质体积）是基于原生质层有 1、2、3 μm 厚的假设，但要精确估计原生质层真实厚度是非常困难的，所以本文不采用 Strathmann 方法（用细胞质体积）。

本文通过聚类分析来比较这 5 种计算浮游植物细胞碳含量的方法，从图 2 可知，Eppley 等的方法和 Strathmann 方法的欧几里德距离是最近的，同时在比较了 4 种方法的回归线（图 3）以后，本文选择了 Eppley 等的方法。

根据本文所得胶州湾浮游植物细胞体积和细胞碳含量（用 Eppley 等的方法计算）的结果与 Cushing 和 Nicholson^[10]、Parsons 等^[11]、Mullin 等^[1]、Strathmann^[2]、Taguchi^[5]等其他研究所得结果，通过总数据的回归线和回归方程的比较（图 4），显示出本文所得数据基本上都位于这条总数据的回归线上，同时这条线的协方差和显著水平控制在 0.05 以内。再通过 Mullin 等、Strathmann、Taguchi 等方法所得细胞碳含量分别与以上 5 篇文献的结果作相似的比较后，表明 Eppley 等的方法是最接近总数据回归线的方法。

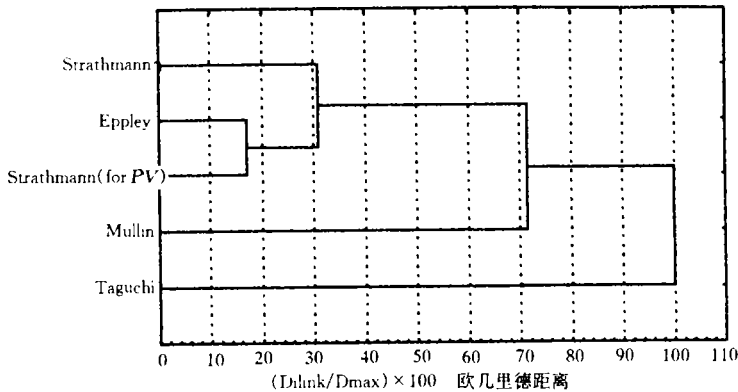


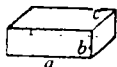





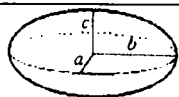
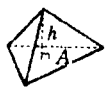
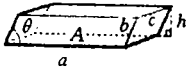
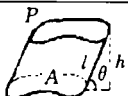


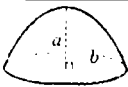
图 2 5 种方法的聚类分析（单链法）

4 结论

本文应用浮游植物生物量细胞体积法，研究了胶州湾 87 种浮游植物的细胞生物量。研究结果表明：

4.1 用浮游植物细胞体积估算浮游植物细胞生物量是研究浮游植物现存量的一个很好的

表 5 计算体积和表面积公式

形状	图像	体积公式	表面积公式
正长方体		$V = a \cdot b \cdot c$	$S = 2(ab + ac + bc)$
圆球		$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$	$S = 4\pi \cdot r^2$
正圆柱体		$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$	$S = 2\pi \cdot r \cdot h + 2\pi \cdot r^2$
正圆锥		$V = \frac{1}{3} \pi \cdot r^2 \cdot h$	$S = \pi \cdot r^2 + \pi \cdot r \cdot \sqrt{r^2 + h^2}$ 或 $S = \pi \cdot r^2 + \pi \cdot r \cdot l$
正圆台		$V = \frac{1}{3} \pi \cdot h (a^2 + ab + b^2)$	$S = \pi \cdot (a^2 + b^2) +$ $\pi \cdot (a + b) \cdot \sqrt{h^2 + (b - a)^2}$ 或 $S = \pi \cdot (a^2 + b^2) + \pi \cdot (a + b) \cdot l$
椭圆柱		$V = \pi \cdot a \cdot b \cdot h$ 或 $V = \pi \cdot a \cdot b \cdot l \cdot \sin\theta$	$S = 2\pi \cdot a \cdot b + 4 \cdot a \cdot l \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \frac{a^2 - b^2}{a^2} \cdot \sin^2\theta} \cdot d\theta$ 或 $S = 2\pi \cdot a \cdot b + \frac{4a \cdot h}{\sin\theta} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \frac{a^2 - b^2}{a^2} \cdot \sin^2\theta} \cdot d\theta$ 或 $S = 2\pi \cdot a \cdot b + 4a \cdot \csc\theta \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \frac{a^2 - b^2}{a^2} \cdot \sin^2\theta} \cdot d\theta$
椭球		$V = \frac{4}{3} \pi \cdot a \cdot b \cdot c$	$S = 4 \cdot \pi \cdot a \cdot b$
四面体		$V = \frac{1}{3} \cdot A \cdot h$	$S = A + A_1 + A_2 + A_3$
长方体		$V = A \cdot h$ 或 $V = a \cdot b \cdot c \cdot \sin\theta$	$S = 2A + 2B + 2C$
柱体		$V = A \cdot h$ 或 $V = A \cdot l \cdot \sin\theta$	$s = P \cdot l$ 或 $S = \frac{P \cdot h}{\sin\theta}$
圆柱		$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$ 或 $V = \pi \cdot r^2 \cdot l \cdot \sin\theta$	$S = 2\pi \cdot r^2 + 2\pi \cdot r \cdot l$ 或 $S = 2\pi \cdot r^2 + \frac{2\pi \cdot r \cdot h}{\sin\theta}$ 或 $S = 2\pi \cdot r^2 + 2\pi \cdot r \cdot h \cdot \csc\theta$
球冠		$V = \frac{1}{3} \pi \cdot h^2 (3r - h)$	$S = 2\pi \cdot r \cdot h$
抛物体		$V = \frac{1}{2} \pi \cdot a \cdot b^2$	$S = 2\pi \cdot a \cdot b$

* 近似计算公式.

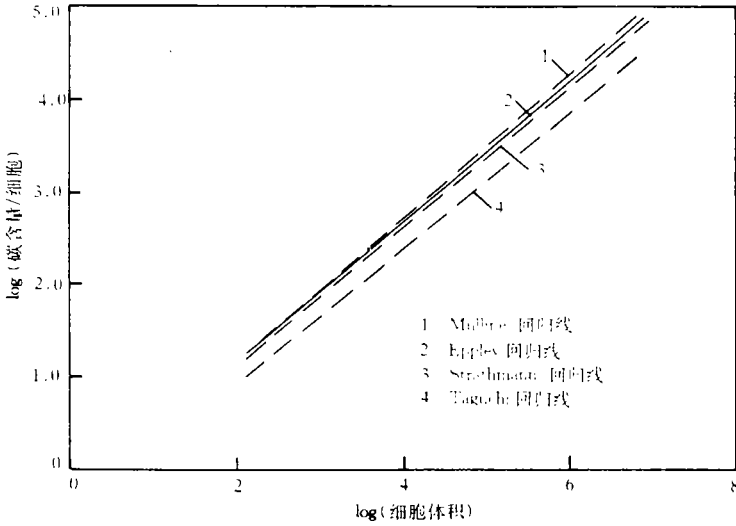


图 3 1 种方法回归线的比较 (碳含量单位为 μg , 细胞体积单位为 μm^3)

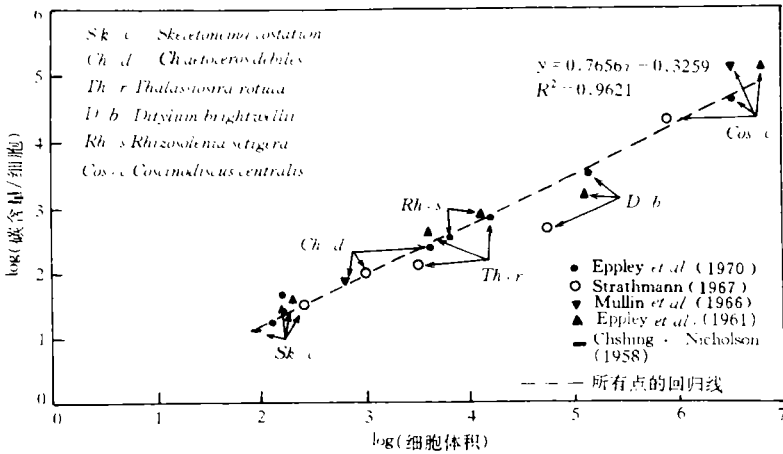


图 4 硅藻每个细胞碳含量 log 值和细胞体积 log 值的比较
(碳含量单位为 μg , 细胞体积单位为 μm^3)

方法.

4.2 Eppley 等. 方法是比较适合中国近海浮游植物生物量估算的.

4.3 有关这方面的研究在国内尚未见报道, 本文对胶州湾浮游植物生物量的研究, 特别是用细胞体积转化的方法提供了 87 种中国近海常见的浮游植物生物量, 对于今后深入研究中国近海生态动力学有重要意义.

参考文献

1 Mullin M M, Sloan P R, Eppley R W. Relationship between carbon content, cell volume, and area in phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 1966, 11(2): 307~311

- 2 Strathman R R. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnol. Oceanogr.*, 1967, **12**(3): 411~418
- 3 Eppley R W, Reid F M H, Strickland J D H. The ecology of the plankton off La Jolla, California, in the period April through September 1967 Part II. Estimates of phytoplankton crop size, growth rate and primary production. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr.* (Strickland J D H ed.), 1970, **17**, 33~42
- 4 Banse K. A review of methods used for quantitative phytoplankton studies. Final Report of SCOR Working Group 33, 1974, 1~27
- 5 Taguchi S. Relationships between photosynthesis and cell size of marine diatoms. *J. Phycol.*, 1976, **12**(2): 185~189
- 6 Kuuppo P. Annual variation in the abundance and size of heterotrophic nanoflagellates on the SW coast of Finland, the Baltic sea. *Journal of Plankton Research*, 1994, **16**(11): 1 525~1 542
- 7 Montagne D J S, Berges J A, Harrison P J *et al.* Estimating carbon, nitrogen, protein, and chlorophyll a from volume in marine phytoplankton. *Limnology & Oceanography*, 1994, **39**(5): 1 044~1 060
- 8 Holmes R W, Norris R, Smayda T *et al.* Collection, fixation, identification and enumeration of phytoplankton standing stock. In: Recommended procedures for measuring the productivity of plankton studding stock and related oceanic properties (Anon ed.), Washington, Nat. Acad. Sci., 1969, 17~46
- 9 Smayda T J, Boleyn B J. Experimental observations on the flotation of marine diatoms I. *Thalassiosira cf. nana*, *Thalassiosira rotula* and *Nitzschia seriata*. *Limnol. Oceanogr.*, 1965, **10**(4): 499~509
- 10 Cushing D H, Nicholson H F. The measurement of the carbon content of diatoms, using the ¹⁴C technique. A preliminary note. *Rappt. Proces-Verbaux Reunions, Conseil Perm. Intern. Exploration Mer.* 1958, **144**, 34
- 11 Parsons T R, Stephens K, Strickland J D H. On the chemical composition of eleven species of marine phytoplankters. *J. Fisheries Res. Board Can.*, 1961, **18**, 1 001~1 016

Study on phytoplankton biomass

I. Phytoplankton measurement biomass from cell volume or plasma volume

Sun Jun,¹ Liu Dongyan,¹ Qian Shuben¹

1. *Marine Ecological Dynamic Laboratory, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003*

Abstract—Cell size differs greatly between species of phytoplankton. The routine estimation of standing stock as cell numbers is therefore an imprecise and sometimes even inadequate measure of phytoplankton abundance, only the biomass can represent the energy distribution in ecosystem more precisely. The relationship between cell carbon and cell volume has been sought in order to estimate phytoplankton carbon in seawater from preserved phytoplankton samples. Bases on the original data of the Jiaozhou Bay Ecosystem Dynamics, cell volume calculations for 87 phytoplankton species were analyzed for the China sea and we calculated the cell size, live weigh, carbon content and nitrogen content of phytoplankton.

Key words Phytoplankton, cell volume, plasma volume, biomass, carbon content