

渤海晚春浮游植物粒度分级 生物量与初级生产力*

宁修仁^{1,2} 刘子琳² 蔡昱明² 刘诚刚²

(¹ 国家海洋局海底科学和海洋动力过程与卫星海洋学重点实验室)

(² 国家海洋局第二海洋研究所)

浮游植物生物量与生产力是海洋生态系食物网的结构与功能的基础环节,是供养其摄食者——浮游动物的物质基础,从而直接或间接地影响海区鱼、虾、贝等经济渔业资源的变动。对浮游植物粒度分级生物量与生产力的研究有助于从更深层次上研究海洋生态系自然群落结构、功能及其环境调控,并可对了解其捕食者群体的特性和营养关系提供重要信息。

渤海是一个半封闭的浅海,生态环境的季节变化显著,同时渤海周围又是人口相对集中,工农业生产较为发达的区域,易受人为因素的影响。20 世纪 80~90 年代初,科学家们曾在渤海进行过不少初级生产力的观测(费尊乐等,1988;朱明远等,1993;吕端华等,1999),但该海域浮游植物生物量与生产力粒度结构方面的资料尚为欠缺。而近年来渤海生态环境日趋恶化,渔业资源严重衰退,因此在该海域进行生态系统动力学,特别是浮游动物种群动力学的研究时,必须同步开展初级生产力结构的动态变化及其控制过程研究。

本研究是国家自然科学基金重大项目“渤海生态系统动力学与生物资源持续利用”的一个重要组成部分,旨在研究渤海春末、夏初对虾产卵期浮游植物现存生物量和初级生产力的粒度结构、周日和空间变化及其与环境之间的关系,特别是浮游动物摄食之间的关系,从而为渤海生态系统动力学模式的建立和生物资源的可持续利用提供科学依据。

一、材料与方法

1. 采样与观测

1997 年 6 月 3 日至 12 日,使用“科学 1 号”调查船,在渤海设 5 个 48h 连续采样观测站(图 1),分别位于渤海口(站 1)、莱州湾(站 2)、渤海湾(站 3)、渤海中部(站 4)和辽东湾(站 5)。

使用球盖式有机玻璃采水器(Q₂₋₃型,青岛海洋仪器仪表研究所)采集水样,采样频

* 国家自然科学基金重大项目,49790010 号。

收稿日期:2000 年 12 月 20 日。

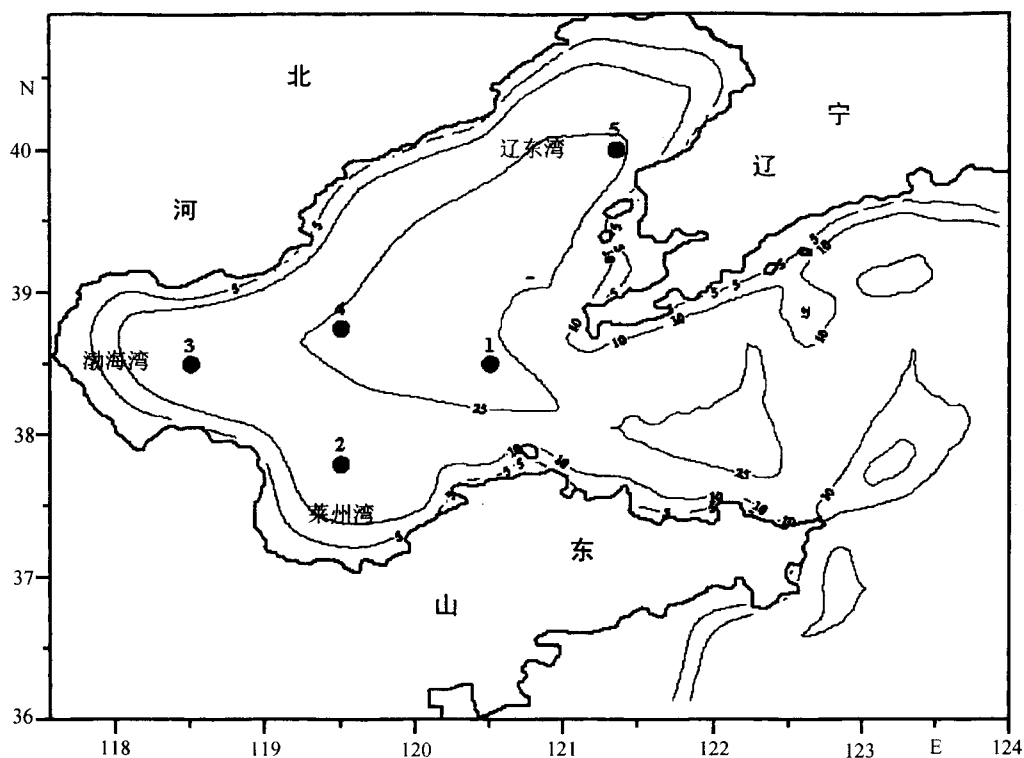


图1 1997年6月采样观测站位及地形示意图

率为每3h 1次。采样层次为:叶绿素a分析用水样采自表层5m、10m和底层;光合作用速率模拟现场培养测定用水样采自海表面光强衰减至100%、50%、32.5%、10%、3%和1%的层次。

所有水样收集前,经280 μ m孔宽的筛绢预过滤,以除去大多数的浮游动物。取500ml水样,加中性福尔马林固定保存供浮游植物镜检。叶绿素a和光合作用速率粒度分级测定用水样经孔宽20 μ m的筛绢、孔径2 μ m的核孔滤膜(Nuclepore)和Whatman GF/F玻璃纤维滤膜的组合过滤系统,以分别获取网采(Net)、微型(Nano)和微微型(Pico)浮游生物级份。在某些情况下未经孔径2 μ m的核孔滤膜过滤,这样Whatman GF/F滤膜所截留的是微型和微微型浮游生物之和(N+P)(宁修仁等,1998)。

2. 方法

叶绿素a(Chl. a)和脱镁色素(Phaeop)的测定采用萃取荧光法(Holm-Hansen *et al.*, 1965)。过滤100cm³水样,色素用90%丙酮萃取24h,用唐纳荧光计(Turner Designs Fluorometer, Model 10)进行测定。

光合作用速率和潜在初级生产力的测定使用标准的¹⁴C示踪法(Steemann *et al.*, 1952; Ning *et al.*, 1988),自每个光层次采得的水样注入2个100cm³的平行白瓶和1个100cm³的黑瓶中,每瓶加入7.4 $\times$ 10⁴ BqNaH¹⁴CO₃,置于甲板模拟培养器中培养3~6h。培养完毕,水样经上述组合滤膜过滤,截留颗粒物的滤膜经HCl雾熏蒸后带回实验室在

Beckman 5801 型液体闪烁计数器上分析测定,计数效率用外标准道比法测定。

浮游植物的种属鉴定和细胞计数使用 Olympus 倒置显微镜。

二、结 果

1. 粒度分级叶绿素 a 的时间序列变化

在渤海各湾区所进行的粒度分级叶绿素 a 浓度在 36~48h 中的波动,因海区不同,其叶绿素 a 浓度不同(表 1,图 2)。

湾口区(站 1)叶绿素 a 浓度波动范围在 0.81~1.51 mg/m³,表层水中叶绿素 a 浓度的平均值为 0.99mg/m³,水层中叶绿素 a 平均值为 1.09mg/m³,但叶绿素 a 浓度似乎受潮汐的影响不显著(图 2a);莱州湾(站 2)观测到的叶绿素 a 浓度范围在 0.90~2.43mg/m³,平均值为 1.60mg/m³,底层浓度高于表层,其周日波动明显,高潮时叶绿素 a 浓度高,低潮时稍低(图 2b);渤海湾(站 3)叶绿素 a 浓度范围在 0.71~2.68mg/m³,波动较大,水层平均值为 1.14mg/m³,低潮时叶绿素 a 浓度较高,高潮时值较低(图 2c);渤海中部(站 4)Chl. a 浓度最低,分布范围在 0.32~1.32mg/m³,平均值仅 0.71mg/m³,底层浓度高于表层,其叶绿素 a 波动受潮汐的影响不明显(图 2d);辽东湾(站 5)叶绿素 a 浓度范围为 0.64~2.86mg/m³,变幅大,平均值为 1.15mg/m³,其表层值高于底层,高值出现在低潮时,低值出现在高潮时(图 2e)。

这 5 个站点所观测到的微型和微微型浮游生物(N+P)对浮游植物叶绿素 a 总量的贡献,表层分别为 95%、82%、94%、98%和 96%,总平均为 93%;水层平均分别为 88%、76%、90%、95%和 87%,总平均为 87%,小型浮游生物对浮游植物群落叶绿素 a 的总平均贡献仅为 13%(表 1)。

表 1 1997 年 6 月渤海各海区平均叶绿素 a 浓度与分布

站号	海区	叶绿素 a 浓度(mg/m ³)		周日波动	受潮汐影响	水层中各级份的贡献(%)	
		范 围	水层积分平均值*			N+P	Net
1	渤海口	0.81~1.51	1.09±0.08	不显著		88	12
2	莱州湾	0.90~2.43	1.60±0.26	显著	高潮时值高 低潮时值低	76	24
3	渤海湾	0.71~2.68	1.14±0.35	显著	高潮时值低 低潮时值高	90	10
4	渤海中部	0.32~1.32	0.71±0.09	不显著		95	5
5	辽东湾	0.64~2.86	1.15±0.41	显著	高潮时值低 低潮时值高	87	13
	整个海区	0.32~2.86	1.10±0.37			87	13

* 叶绿素 a 水层平均值与 Net 级份贡献之间成显著相关($r^2=0.940$, $p<0.001$, $n=5$)。

2. 粒度分级叶绿素 a 浓度的垂直分布

渤海各连续观测站各层次平均叶绿素 a 浓度的垂直分布较为均匀,特别是渤海口

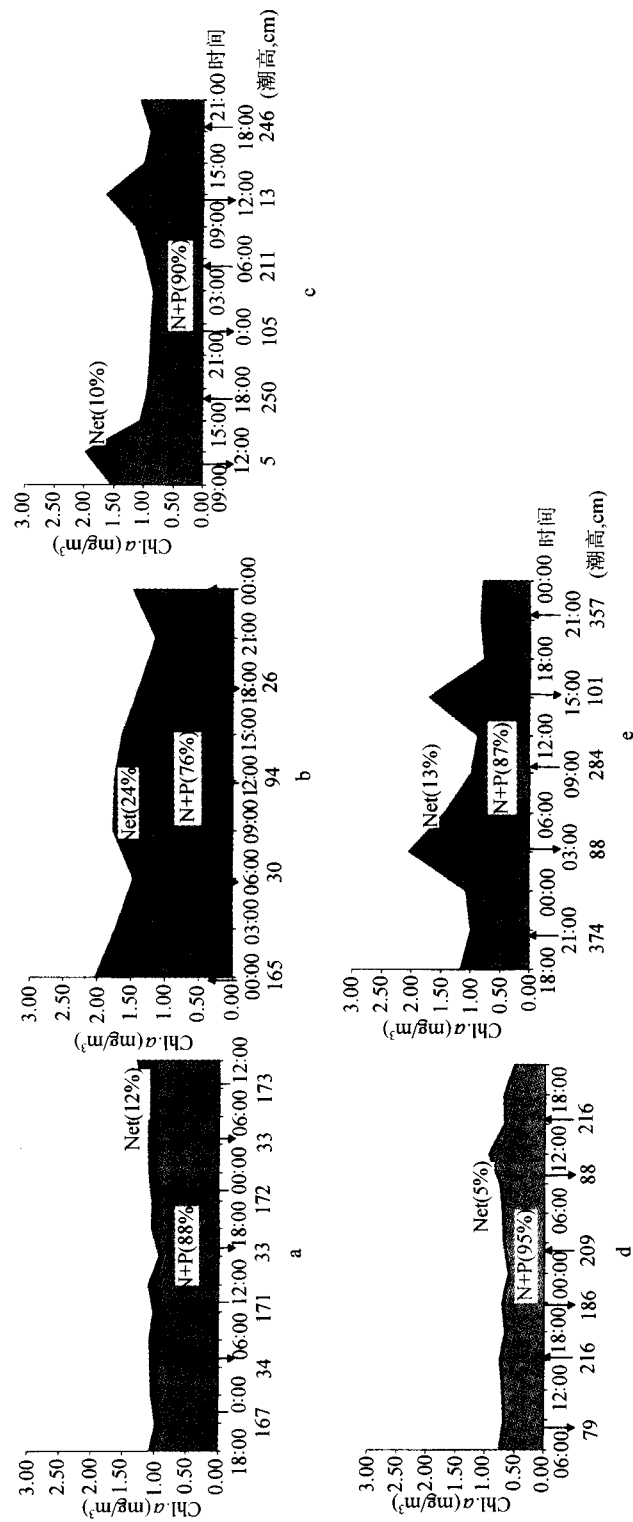


图 2 1997 年 6 月渤海各海区代表性站位周日连续观测水层平均叶绿素 *a* 浓度的时序变化
a. 站 1: 渤海口, b. 站 2: 莱州湾, c. 站 3: 渤海湾, d. 站 4: 渤海中部, e. 站 5: 辽东湾

(站 1),其水层垂直分布相当均匀,莱州湾(站 2)与渤海中部(站 4)底层略高于表层,而渤海湾(站 3)和辽东湾(站 5)底层低于表层,其中辽东湾表、底层值相差较大,大约有一倍(表 2,图 3)。

表 2 1997 年 6 月渤海各观测站不同水层叶绿素 a 平均值($\bar{X} \pm SD, \text{mg/m}^3$)

层次(m)	渤海口 (n=13)	莱州湾 (n=9)	渤海湾 (n=13)	渤海中部 (n=14)	辽东湾 (n=11)
0	0.99 ± 0.10 (0.81~1.18)	1.29 ± 0.32 (0.90~1.79)	1.16 ± 0.55 (0.71~2.68)	0.45 ± 0.07 (0.32~0.54)	1.57 ± 0.77 (0.66~2.86)
5	1.08 ± 0.11 (0.85~1.28)	1.50 ± 0.26 (1.06~1.85)	1.21 ± 0.44 (0.71~2.27)	0.46 ± 0.05 (0.39~0.54)	1.46 ± 0.70 (0.71~2.69)
10	1.07 ± 0.14 (0.97~1.51)	1.51	1.07 ± 0.26 (0.84~1.63)	0.75 ± 0.20 (0.47~1.31)	1.14 ± 0.61 (0.73~2.52)
底层	1.10 ± 0.11 (0.88~1.22)	1.94 ± 0.38 (1.06~2.43)	1.08 ± 0.24 (0.83~1.53)	0.91 ± 0.24 (0.17~1.32)	0.87 ± 0.16 (0.64~1.16)
水层平均	1.09 ± 0.08	1.60 ± 0.26	1.14 ± 0.35	0.71 ± 0.09	1.15 ± 0.41

自图 3 可见小型浮游生物(Net 级份)对浮游植物群落现存生物量——叶绿素 a 的相对贡献很小,而微型(Nano)和微微型(Pico)浮游生物的相对贡献则大。统计表明渤海各层次的微型和微微型浮游生物对浮游植物群落总叶绿素 a 的贡献达 87%,而小型浮游生物的贡献仅占 13%(表 1)。

3. 小型(Net)微型(Nano)和微微型(Pico)浮游生物在浮游植物生物量中所占的份额

对三个级份:小型(Net)、微型(Nano)和微微型(Pico)浮游植物的叶绿素 a 进行测定的结果(见图 4)表明浮游植物现存生物量以辽东湾最高(2.31mg/m^3),莱州湾次之(1.41mg/m^3),渤海中部最低(0.70mg/m^3)。不同区域(站位)小型浮游生物对浮游植物现存生物量的贡献在 4%(渤海中部)至 19%(莱州湾),平均贡献为 10%;微型浮游生物的贡献在 42%(渤海中部)至 62%(辽东湾),平均为 52%,而微微型的贡献在 29%(渤海湾)至 54%(渤海中部),平均贡献为 38%。

对上述微、小型浮游植物现存生物量作出贡献的优势种主要有:硅藻类的斯式根管藻(*Rhizosolenia stolterforthii*),刚毛根管藻(*R. setigera*),中心圆筛藻(*Coscinodiscus centralis*),尖刺菱形藻(*Nitzschia pungens*),海洋斜纹藻(*Pleurosigma pelagicum*),具槽直链藻(*Melosira sulcata*),柱状小环藻(*Cyclotella stlorum*),丹麦细柱藻(*Leptocylindrus danicus*),蜂腰双壁藻(*Diploneis bombus*),粗纹藻(*Trachyneis aspera*),波罗的海布纹藻(*Gyrosigma balticum*),舟形藻(*Navicula* sp.),甲藻类的纺锤角藻(*Ceratium fusus*),三角角藻(*Ceratium tripos*),多甲藻(*Peridinium* sp.)。此外,尚有金藻类的硅鞭藻(*Dictyocha* sp.)等。

4. 粒度分级初级生产力

渤海的潜在初级生产力以渤海湾最高 [$4.1 \text{mgC}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$],辽东湾次之 [$2.2 \text{mgC}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$],莱州湾居第三 [$1.8 \text{mgC}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$],渤海中部和渤海口门较低 [$< 1.0 \text{mgC}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$],

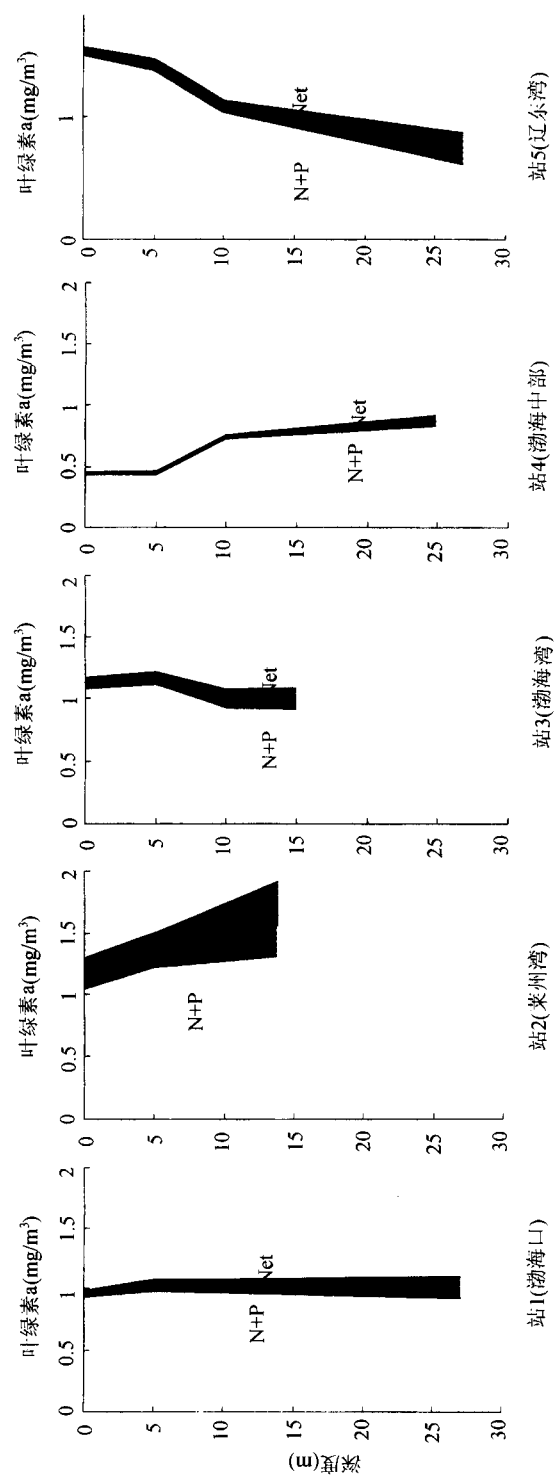


图 3 1997 年 6 月渤海各观测站平均叶绿素 *a* 的垂直分布

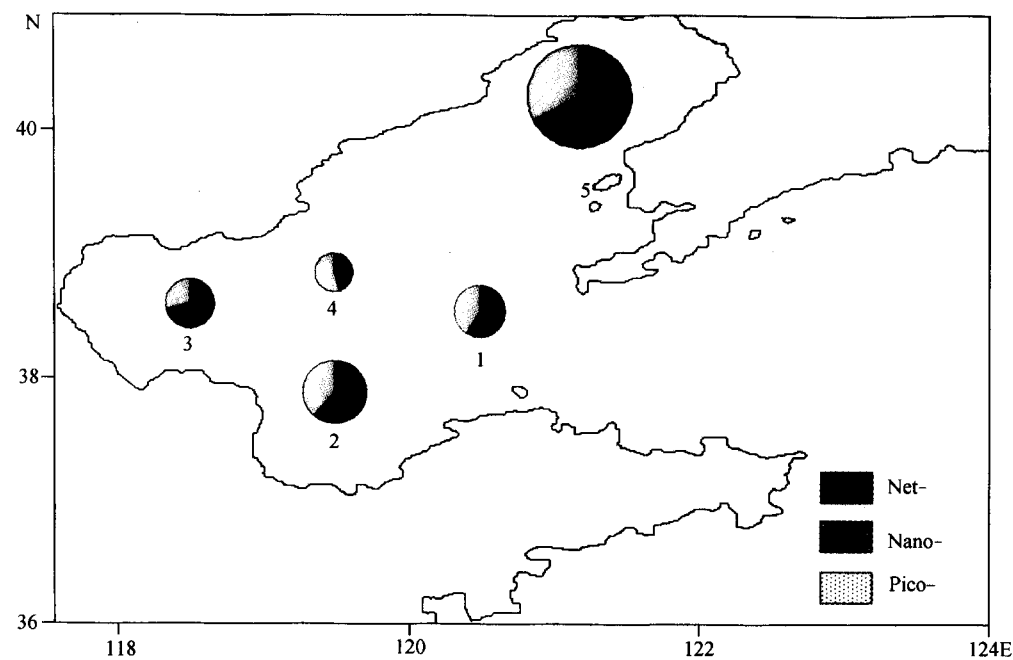


图 4 1997 年的 6 月渤海各海区代表站位叶绿素 a 的粒级结构

最高值为最低值的 5 倍,平均为 $2.0\text{mgC}/(\text{m}^3\cdot\text{h})$ (表 3)。

表 3 1997 年春末渤海粒度分级初级生产力

站号	观测时间	水深 (m)	真光层 深度(m)	粒度级份	初级生产力		
					$\text{mgC}/(\text{m}^3\cdot\text{h})$	$\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	百分比(%)
渤海口门 (站 1)	1997 年 6 月 4,5 日	29.8	18	Net	0.1	12.2	10.9
				Nano	0.7	90.4	80.6
				Pico	0.1	9.5	8.5
				Sum	0.9	112.1	100
莱州湾 (站 2)	1997 年 6 月 6 日	17.0	10	Net	0.3	21.8	15.8
				Nano	0.7	54.0	39.1
				Pico	0.8	62.2	45.1
				Sum	1.8	138.0	100
渤海湾 (站 3)	1997 年 6 月 7,8 日	18.0	5	Net	0.7	27.4	17.7
				Nano	2.7	100.5	65.1
				Pico	0.7	26.6	17.2
				Sum	4.1	154.5	100
渤海中部 (站 4)	1997 年 6 月 10 日	27.0	18	Net	0.1	12.2	9.7
				Nano	0.6	86.4	68.8
				Pico	0.2	27.0	21.5
				Sum	0.9	125.6	100
辽东湾 (站 5)	1997 年 6 月 12 日	29.0	8	Net	0.2	9.6	7.4
				Nano	1.5	86.4	67.0
				Pico	0.5	33.0	25.6
				Sum	2.2	129.0	100
渤海平均 (站 1~5)	1997 年 6 月 4~12 日	24.0	12	Net	0.3	16.6	12.6
				Nano	1.2	83.5	63.4
				Pico	0.5	31.7	24
				Sum	2.0	131.8	100

现场初级生产力仍以渤海湾最高[$154.5\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$],莱州湾[$138.0\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$]

和辽东湾 [$129.0\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$] 次之, 渤海中部 [$125.6\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$] 和渤海口门 [$112.1\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$] 较低, 整个渤海平均为 $131.8\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ (表 3)。各海区现场初级生产力相差不大, 其原因在于虽然渤海中部与口门潜在初级生产力较低, 但该二区真光层深度大, 而使其现场初级生产力并不低。

从各站不同粒度浮游生物对浮游植物群落初级生产力的贡献来看, Net 级份的贡献量最小, 其范围为 $7.4\% \sim 17.7\%$, 平均 12.6% ; Pico 级份的贡献次之, 其范围为 $8.5\% \sim 45.1\%$, 平均 24% ; Nano 级份的贡献最大, 其范围为 $39.1\% \sim 80.6\%$, 平均 63.4% (表 3, 图 5)。

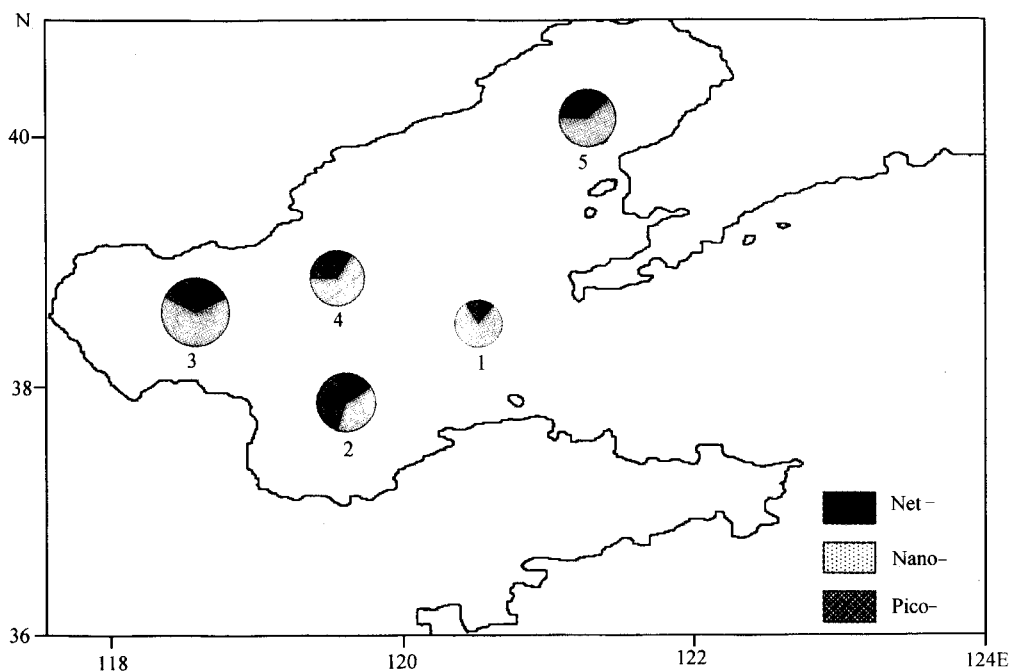


图 5 1997 年 6 月渤海各海区代表站位粒度分级初级生产力

从潜在初级生产力的垂直分布来看, 不同观测海区初级生产力最大值出现的深度有很大差异, 莱州湾(站 2)、辽东湾(站 5)和渤海中部(站 4)出现在次表层, 即海面光强衰减至 10% 的层次, 而渤海口(站 1)潜在初级生产力的最大值则出现在表层, 随水深的增加急剧降低(图 6)。

三、讨论与结论

本研究所获得的渤海浮游植物现存生物量——叶绿素 a 和初级生产力的分布趋势与 1983 年和 1993 年的同期调查结果(费尊乐等, 1988; 朱明远等, 1993)大体一致, 即莱州湾、辽东湾和渤海湾较高, 渤海中部与渤海口门较低(表 1, 3)。从同期(6 月份)渤海平均叶绿素 a 浓度与初级生产力比较来看, 本次调查叶绿素 a 浓度比 1983 年同期调查高出

近一倍,比 1993 年同期调查高出近两倍;而平均初级生产力值却比 1983 年的调查低得多,而比 1993 年的调查稍低(表 4),说明渤海浮游植物的光合生理活性较低,其原因值得探讨。

表 4 6 月份渤海水域叶绿素 a 和初级生产力

年份	叶绿素 a (mg/m ³)	初级生产力 [mgC/(m ² ·d)]	文献
1983	0.64	208	费尊乐等(1988)
1993	0.44	162	吕端华等(1999)
1997	1.10	132	本研究

从粒度分级叶绿素 a 和初级生产力的结果来看,渤海微型(Nano)和微微型(Pico)浮游生物之和对浮游植物群落总生物量的平均贡献要高于 1983 年 5 月(70.9%,朱明远等,1993),而 N+P 对浮游植物群落初级生产力的贡献与 1983 年同期调查结果(87%,朱明远等,1993)相当。本研究对三个不同粒级的浮游生物对浮游植物群落总生物量和总生产力的贡献大小次序均为 Nano>Pico>Net(图 4,图 5,表 3)。

虽然 Net 级份的浮游生物对浮游植物群落总生物量的贡献相对最小,但就渤海不同海区的浮游植物的平均现存生物量和 Net 级份的相应平均贡献而言,总生物量越高,Net 级份贡献越大(表 1),二者成显著的正相关($r^2 = 0.94$, $p < 0.001$)。Heywood 等(1987)指出,凡是浮游植物生物量较高的海域,通常 Net 级份的硅藻生物量也较高,对浮游植物总生物量的贡献也较高,这很可能是由于大细胞对光和营养盐反应的 Michaelis-Menten 常数(半饱和常数)较高所致(Parsons *et al.*, 1973)。本研究与上述作者的结果相一致。

浮游动物的摄食对浮游植物生物量与生产力起着重要的调节作用,特别是在渤海的 6 月份,浮游动物的生物量可达到全年的最高值(255.9mg/m³)(Bai *et al.*, 1991)。与本研究同时现场观测的不同粒度浮游动物的摄食率表明,渤海各海区代表性站位除站 1 外,摄食率均为大型浮游动物(>1000 μ m)>中型浮游动物(500~1000 μ m)>小型浮游动物(200~500 μ m),但就群落的摄食量而言,小型浮游动物占主导地位,占整个浮游动物(>200 μ m)总摄食量的 50%以上(Wang *et al.*, 1998),它们主要摄食 Net 和 Nano 级份的浮游植物。由于高的桡足类丰度,低的 Net 级份浮游植物生物量,造成因食物不足而发生的摄食竞争,致使只有一小部分(2.9%~13.5%)浮游植物的生物量被摄食消耗(Wang *et al.*, 1998)。以小铃虫、桡足类幼体——剑水蚤和一些底栖无脊椎动物幼体为主要组成的微小型浮游动物(Microzooplankton, <200 μ m)是 Nano 和部分 Pico 级份浮游生物的主要摄食者,它们每日摄食近 1/2 的浮游植物生物量,和 85%~319%的初级生产量(Reckermann *et al.*, 1997)。由于 Nano 和 Pico 级份的浮游生物在浮游植物群落的生物量和生产力中所占比重较大,物质和能量通过微小型浮游动物向高营养阶层转移的路径就显得更加重要。Reckermann 等(1997)报道西阿拉伯海微小型浮游动物每天可摄食 38%浮游植物生物量和 67%的生产量;微小型浮游动物对微微型浮游植物(*Prochlorococcus*, *Synechococcus* sp. 和两类微微型真核生物)日摄食 49%的生物量和 100%的初级生产量。Kuipers 等(1999)报道了早春和中夏北海微小型浮游动物对不同粒级的超微型浮游

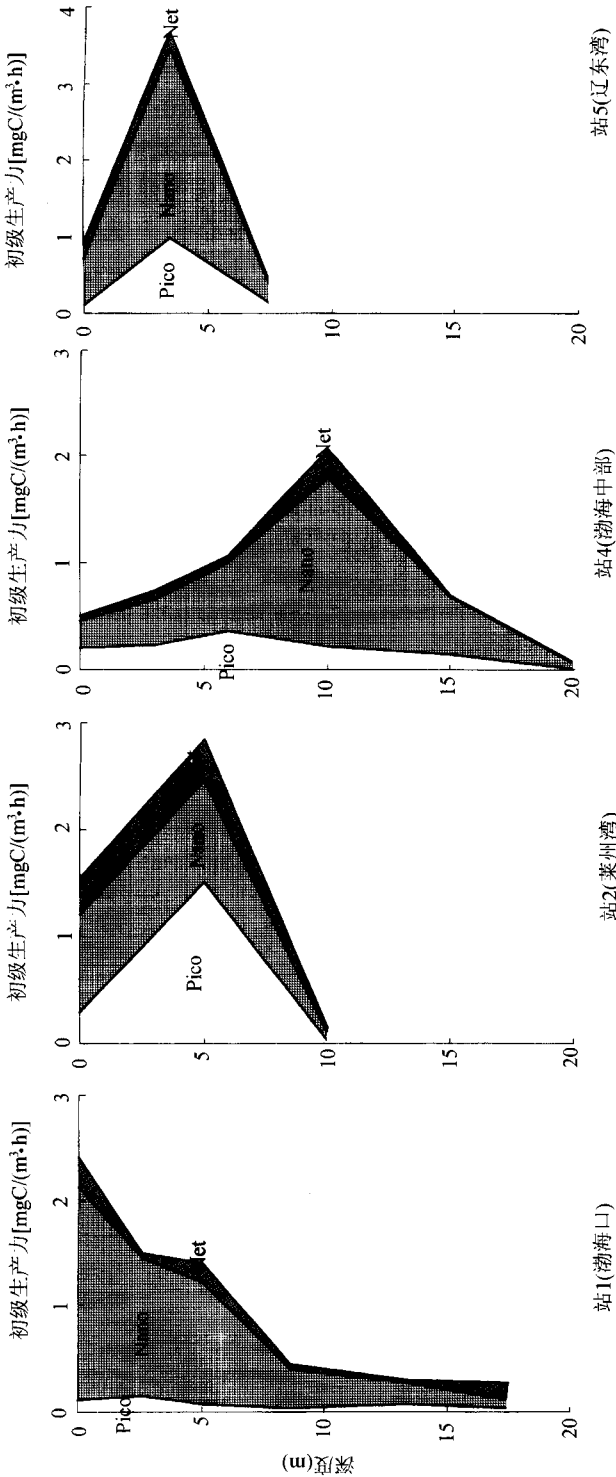


图6 1997年6月渤海各观测站粒度分级潜在初级生产力的垂直分布

生物($<5\mu\text{m}$)的摄食率,获得了有意义的结果,为我们今后对不同粒级浮游植物生物量和生产力受浮游动物摄食影响的实验与分析提供了有意义的借鉴。

光对初级生产力的影响在本研究中亦有明显的体现,从所观测的4个海区中观测到代表性站位潜在初级生产力在真光层中的垂直分布(图6)可见,除站1(渤海口)初级生产力的最大值出现在表层外,其他3个站位(站2,4和5)初级生产力的最大值均出现在海面光强衰减至10%的深度层次。这与该三个站光合作用培养期,天气晴朗,辐射过强[每小时光辐射强度分别为 $4.2, 4.85$ 和 $4.6\text{E}/\text{m}^2$];瞬时光辐射强度均超过 $2000\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]对表层浮游植物产生光抑制所致;而在站1光合作用培养期间,大气多云,特别是在下午3时以后光辐射强度低($<1\text{E}/\text{m}^2$),瞬时光强也低[$<1000\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$],海面不存在光限制所致。

参 考 文 献

- 宁修仁等,1998,南大洋特定海区浮游植物现存量 and 初级生产力结构研究,见:中国海洋学文集,海洋出版社,9:1~21。
- 朱明远、毛兴华、吕端华,1993,黄海水域的叶绿素a和初级生产力,黄渤海海洋,11(3):38~59。
- 吕端华、夏滨、李宝华等,1999,渤海水域初级生产力10年间的变化,黄渤海海洋,17(3):80~85。
- 费尊乐、毛兴华、朱明远等,1988,渤海初级生产力研究I,海洋学报,10(1):99~106。
- Bai, X. and Zhuang, Z., 1991, Studies on the fluctuation of zooplankton biomass and number in the Bohai Sea, *Mar. Fish. Res.*, 12:71~92.
- Heywood, R. B. and Pribble, J. R., 1987, Retention of phytoplankton by an eddy, *Cont. Shelf Res.*, 7: 937~955.
- Holm-Hansen, O., Lorenzen, C. J., Holms, R. W. et al., 1965, Fluorometric determination of Chlorophyll, *J. Cons. Int. Explor. Met*, 30: 3~15.
- Kuipers, B. R. and Witte, H. J., 1999, Grazing impact of microzooplankton on different size classes of algal in the North Sea in early spring and mid-summer, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 180: 93~104.
- Ning, X., Vanlot, D., Liu, Zh. et al., 1988, Standing stock and production of phytoplankton in the estuary of the Changjiang (Yangtze River) and the adjacent East China Sea, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 49: 141~151.
- Parsons, T. R. and Takahashi, M., 1973, Environmental control of phytoplankton cell size, *Limnol. Oceanogr.*, 8:511~515.
- Reckermann, M. and Veldhuis, M. J. W., 1997, Trophic interactions between picophytoplankton and micro and nano zooplankton in the western Arabian Sea during the NE monsoon 1993, *Aquat. Microb. Ecol.*, 12: 263~273.
- Steemann Nielson, E., 1952, The use of radio-active carbon (^{14}C) for measuring organic production in the sea, *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 18: 117~140.
- Wang, R., Li, Ch., Wang, K. and Zhang, W., 1998, Feeding activities of zooplankton in Bohai Sea, *Fish. Oceanogr.*, 7: 265~271.

SIZE-FRACTIONATED PHYTOPLANKTON STANDING STOCK AND PRIMARY PRODUCTION IN BOHAI SEA DURING LATE SPRING

Ning Xiuren^{1,2}, Liu Zilin², Cai Yuming², Liu Chenggang²

(¹ Key Labs of Submarine sciences and Ocean Dynamic Processes & Satellite Oceanography, State Oceanic Administration)

(² Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou)

ABSTRACT

During June 1997 cruise by the R/V *Science No. 1*, observations on temporal and spatial variations of size-fractionated phytoplankton standing stock and primary production were carried out in the Bohai Sea. Size-fractionated chlorophyll *a* and primary production, PAR (photosynthetically available radiation), as well as the related physico-oceanographic and zooplanktonic parameters were measured at five time-series stations representing sub-areas of the sea.

Results obtained showed that there were marked spatial zonation of chlorophyll *a* and primary production in the Bohai Sea. The values in Laizhou Bay, Liaodong Bay and Bohai Bay were high and appeared closely related with tidal fluctuations, i.e. high chlorophyll *a* concentration occurred during high tide in Laizhou Bay, and during low tide in Liaodong Bay and Bohai Bay. In the mouth and the central region of the Bohai Sea, the values were relatively low and no relationship with tidal fluctuation could be found. Chlorophyll *a* concentration vertically decreased from surface to bottom in Liaodong Bay and Bohai Bay, while it increased in Laizhou Bay, the mouth, the central region of Bohai Sea, and maximized at the bottom.

Size-fractionation results showed that nano-and picoplankton ($< 20\mu\text{m}$) predominated in the Bohai Sea phytoplankton communities during late spring. The average contribution to total chlorophyll *a* in each station was 76% ~ 95% (mean = 87%). The contribution of net ($> 20\mu\text{m}$), nano ($2\sim 20\mu\text{m}$) and picoplankton ($< 2\mu\text{m}$) were 13%, 63% and 24% to total production, and 9%, 53% and 38% to total chlorophyll *a*, respectively. It proved the importance of nano-and picoplankton in phytoplankton communities in the Bohai Sea ecosystems.

The paper also discussed the factors, such as light intensity, zooplankton grazing pressure, etc. governing standing stock and production of phytoplankton in the Bohai Sea.