

文章编号: 1000-0550(2008)06-1035-08

北冰洋沉积物和海水叶绿素 α 浓度分布的区域性特征^①

刘子琳^{1,2} 陈建芳^{1,2} 刘艳岚³ 张宏^{1,2} 陈忠元^{1,2} 张海生^{1,2}

(1 国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室 杭州 310012

2 国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012 3 杭州广播电视大学 杭州 310012)

摘要 2003 年夏季中国第二次北极科学考察期间,在北冰洋楚科奇海陆架、楚科奇海台、陆坡流区、门捷列夫海岭和加拿大海盆等不同区域进行了 200 m 以浅海水和部分观察站沉积物表层叶绿素 α 浓度的现场观测。结果表明,观测水体叶绿素 α 浓度变化范围为 $0.002 \sim 39.008 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ 。表层浓度分布范围为 $0.037 \sim 4.644 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, 平均值为 $0.612 \mu\text{g}/\text{dm}^3$; 高叶绿素 α 浓度出现在水深 20~30 m 的次表层水。叶绿素 α 浓度分布具有明显的区域性特征,水柱平均浓度的次序为楚科奇海陆架区>陆坡流区>楚科奇海台区>加拿大海盆区>门捷列夫海岭区。表层沉积物叶绿素 α 浓度从未能检出 ($\sim 3.978 \mu\text{g}/\text{g}$ 湿重),平均浓度为 $0.954 \mu\text{g}/\text{g}$ (湿重),表现为沉积物表层的浓度高于下层,陆架和陆坡流区的浓度高于海岭区以及海台和海盆区的分布特征。

关键词 叶绿素 α 浓度 水体与沉积物 区域性 北冰洋

第一作者简介 刘子琳 男 1949 年出生 研究员 海洋生态学 E-mail: zllin1789@sina.com

中图分类号 Q945.11 **文献标识码** A

北冰洋海水与沉积物有机碳主要有三种来源:海冰生物输入、陆源物质输入、海洋生物泵过程输入^[1]。楚科奇海陆架区海底沉积有机物部分来源于白令海北部至楚科奇海南部的含有丰富颗粒有机碳的海水中^[2]。海洋中碳的转化过程在大时空尺度上调节大气 CO_2 浓度和地球气候,碳循环途径和能量流动规模直接关系到海洋初级生产力和海洋对气候变化的调节能力,在全球碳循环和海洋生物地球化学过程研究中具有重要的科学意义^[3~10]。北纬 65°N 以北陆架区的初级生产力约占北冰洋总初级生产碳量 ($279 \times 10^{12} \text{g}$) 的 80% 以上^[5]。Hill 和 Cota 等的观测结果表明楚科奇海生物现存量 and 初级生产力的高值往往出现在陆架区的次表层水,陆架外缘海区的叶绿素 α 浓度和初级生产力低于陆架和陆坡区^[4~6]。海水中光合作用所产生的部分有机物下沉析出真光层并通过沉降过程由水体向深海转移到海底沉积物中,既降低了海水 CO_2 浓度,又为海底双壳类软体动物和其它无脊椎动物的提供重要食物源以及沉积碳的来源^[2, 11~16]。本文以 2003 年夏季中国第二次北极科学考察的现场观测数据,分析楚科奇海及其北部海台区、陆坡流区、海盆区和海岭区海水与沉积表层叶绿素 α 浓度的区域性分布,海水光合浮游植物粒级结构,探讨水柱与沉积物表层叶绿素 α 浓度的相关性,

为北冰洋碳的生物地球化学和生物泵过程研究以及北极陆架在全球碳循环中的作用研究积累基础资料。

1 材料与方法

1.1 采样

2003 年 7 月 30 日~9 月 10 日在楚科奇海、楚科奇海台、陆坡流区、海盆区和海岭区进行了海水叶绿素 α ($\text{Chl}\alpha$) 浓度 (73 站) 和沉积物表层 $\text{Chl}\alpha$ 浓度 (10 站) 的现场观测。 73°N 以北海域大部海面被浮冰覆盖,部分海域浮冰约占海面的 40%~60%,观测站位间距较大(图 1)。在观测站位,用依附在 Rosette 采样器上的 Niskin 瓶采集水深 0 m、10 m、20 m、30 m、50 m、75 m、100 m、150 m 和 200 m 水层样品,供 $\text{Chl}\alpha$ 浓度分析和水化学参数分析。在 R06、R012a、R10、C17、C21、S11、P23、M07、B78 和 B80 等 10 个站用沉积物多管采样器或箱式采样器采集海泥样品供上层沉积物 $\text{Chl}\alpha$ 浓度和脱镁色素 (Pheaeop) 浓度分析(图 1)。

1.2 方法

$\text{Chl}\alpha$ 浓度的测定采用海洋调查规范中的荧光法^[17]。取 250cm^3 海水样品经 Whatman GF/F 滤膜过滤;进行粒度分级的部分水样,量取 250cm^3 先经孔宽 $20 \mu\text{m}$ 的筛绢过滤(分离小型浮游植物细胞—Mi-

① 国家自然科学基金(批准号: 40476004 40476003 40876103)和中国第二次北极科学考察资助项目。

收稿日期: 2007-10-10 收修改稿日期: 2008-01-28

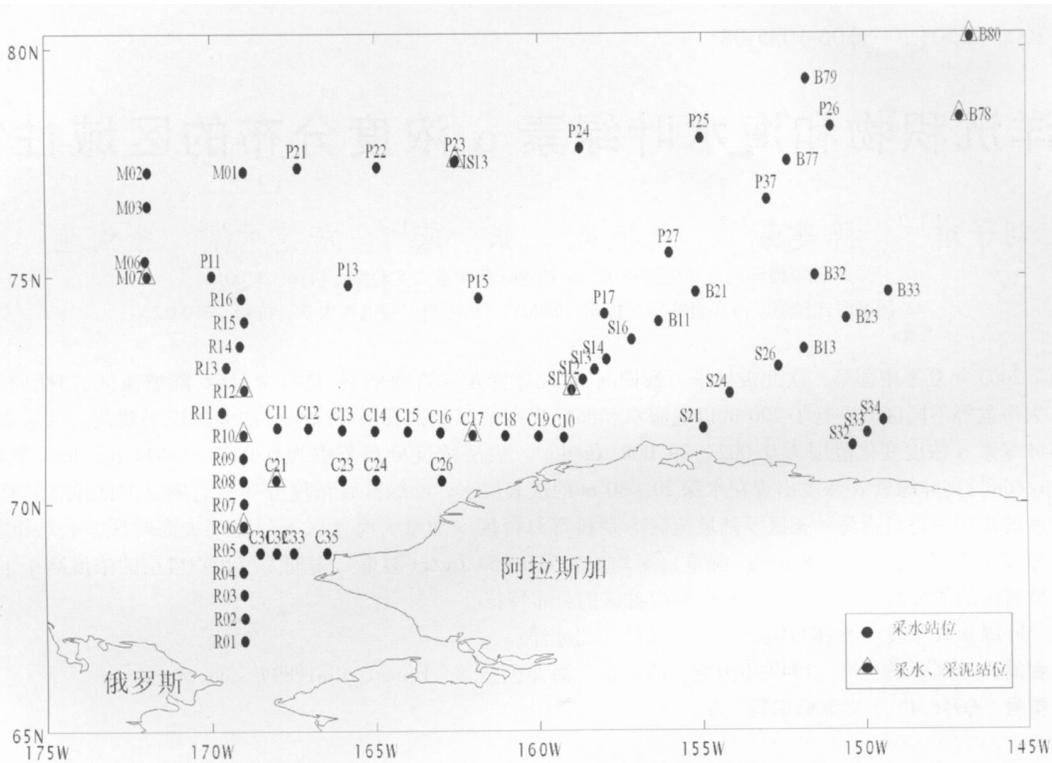


图 1 北冰洋观测站位

Fig 1 The sampling stations

cro级份)再经 $2.0 \mu\text{m}$ 的玻璃纤维素酯滤膜过滤(分离 $2.0 \sim 20 \mu\text{m}$ 的微型浮游植物细胞—Nano级份)最后用 Whatman GF/F 滤膜过滤(截留微微型浮游植物细胞—Pico级份)。截留在滤膜上的光合浮游生物细胞用 90% 丙酮萃取。萃取液在 Turner Designs Fluorometer Model 10 上测定。按经典公式计算出 $\text{Chl}\alpha$ 浓度^[17, 18]。

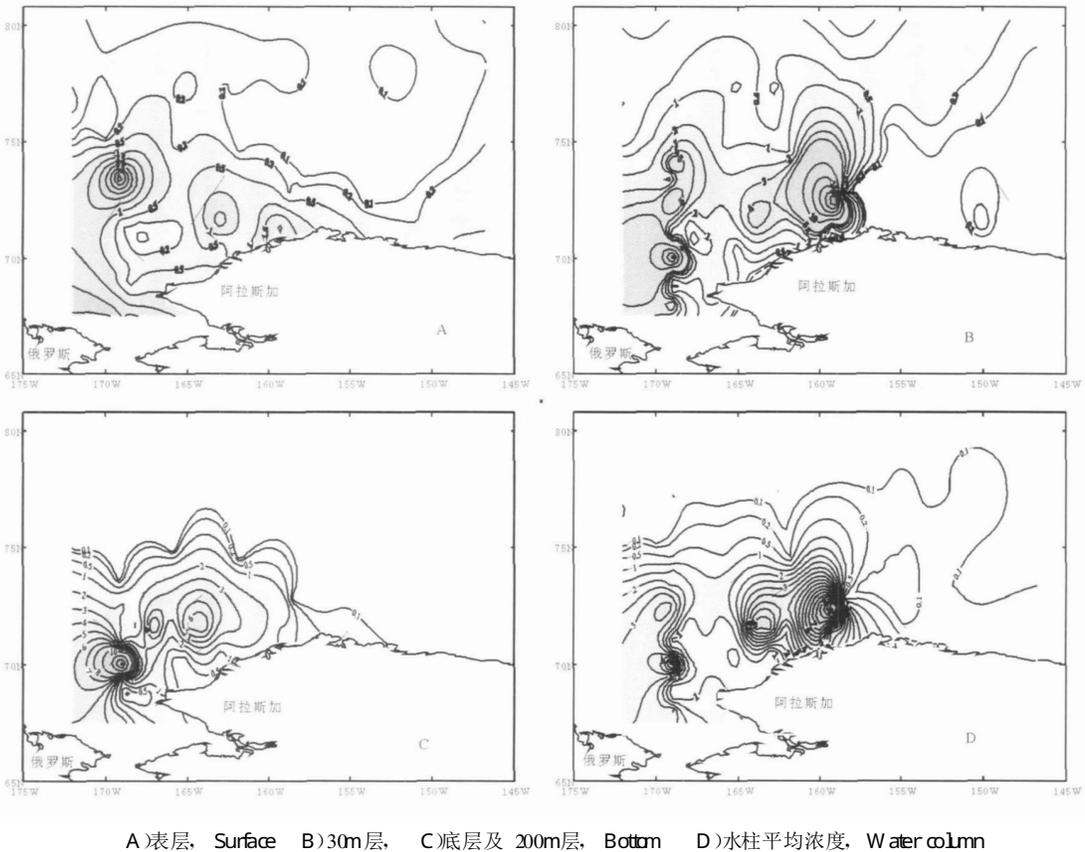
沉积物中 $\text{Chl}\alpha$ 浓度分析,用多管或箱式(箱式样品在甲板上再用直径 10 cm 的塑料插管取样)采集泥样,取 1 管柱状样从上往下按 1 cm 的厚度分割,上层泥样每份各取 1~2 g 于萃取管中,并加入 90% 丙酮 10 cm^3 ,经多次搅拌萃取 24 h 后离心沉淀,上清液在 Turner Designs Fluorometer Model 10 上测定。依照经典公式计算出 $\text{Chl}\alpha$ 浓度和脱镁色素(Pheo_ap)浓度^[17, 18]。

2 结果与讨论

2.1 海水 $\text{Chl}\alpha$ 浓度

北冰洋观测区海水 $\text{Chl}\alpha$ 浓度分布范围为 $0.002 \sim 39.008 \mu\text{g}/\text{dm}^3$,最大值出现在陆坡流区的 S11 站水深 30 m 层,最小值出现在北部深海区 200 m 水层。

表层 $\text{Chl}\alpha$ 浓度为 $0.037 \sim 4.644 \mu\text{g}/\text{dm}^3$,平均值和标准差为 $0.612 \mu\text{g}/\text{dm}^3$;高值出现在楚科奇海南部与白令海峡衔接海域、阿拉斯加巴罗沿岸以及西经 169°W 的 R 断面中北部陆架出现冰间湖(Polynya)等海域, $\text{Chl}\alpha$ 浓度 $< 0.20 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ 的低值区出现在陆架以北的深海区,门捷列夫海岭区的浓度略高于加拿大海盆区(图 2A)。水深 20~30 m 的次表层水中 $\text{Chl}\alpha$ 浓度明显增高,73 个观测站中有 83% 的站位在 30 m 层的浓度高于表层。30 m 水层平均浓度高达 $2.580 \mu\text{g}/\text{dm}^3$,比表层平均浓度高 3.2 倍。在大陆架和陆坡流区出现的高浓度更趋明显,平面分布围绕大陆架 R 断面和陆坡流区西侧两处高浓度区,测区东北部和东部均存在低浓度区(图 2B)。尤其在 S11 站出现 $39.008 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ 的最高值。该站位于陆坡边缘,30 m 层出现低温 (-1.308°C)、高盐 (31.169)、高营养物质 ($\text{NO}_3\text{-N}$ $7.00 \mu\text{M}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ $1.86 \mu\text{M}$) 分别比 20 m 层的水温低 0.273°C ,盐度高 2.203, $\text{NO}_3\text{-N}$ 高 $5.90 \mu\text{M}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 高 $1.06 \mu\text{M}$ 。类似的低温 (-0.598°C)、高盐 (32.525)、高营养物质 ($\text{NO}_3\text{-N}$ $9.39 \mu\text{M}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ $1.25 \mu\text{M}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ $0.35 \mu\text{M}$) 的海水也出现在 R07 站的近底层,该水层同样出现 $30.390 \mu\text{g}/\text{dm}^3$



A) 表层, Surface B) 30m层, C) 底层及 200m层, Bottom D) 水柱平均浓度, Water column

图 2 观测区叶绿素 a 浓度 ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$) 平面分布

Fig 2 The horizontal distribution of chlorophyll a concentration ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$) in the surveyed area

的 Chl α 浓度高值。在加拿大海盆和门捷列夫海岭等深海区的浓度均低于 $0.50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, 与表层的分布趋势相似 (图 2B)。底层分析样品的采集深度不一, 陆架区采集近底层水样, 陆坡和深海区采集真光层的下限 (200 m 水层) 样品, 因而 Chl α 浓度分布从阿拉斯加近海陆缘往北逐渐降低, 从陆架区底层平均值的 $3.067 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ 下降至 200 m 层的 $0.016 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ (图 2C, 表 1)。观测站水柱平均 Chl α 浓度的分布趋势受次表层出现的高浓度影响甚大, 其平面分布高浓度区与 30 m 层的分布趋势相近似, 在 R 断面和陆坡流区出现高浓度区, 而北部深海区较深水层 Chl α 浓度低, 分布趋势大致与底层浓度 $0.20 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ 等值线相类似 (图 2D)。

北冰洋观测海区水深 40 ~ 3 800 m 变化幅度较大, 夏季海面有冰雪融化过程, 独特的地理位置和自然环境使的观测海区具有上层海水低温、低盐、低营养物质浓度的理化特征。光合浮游生物的生存与繁衍与环境因素息息相关, Chl α 浓度在垂直和水平方向均呈现较明显的区域性特征。北冰洋观测区水柱

平均 Chl α 浓度高达 $1.292 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, 30 m 以浅海水层 Chl α 浓度随深度增加而增高, 水深 30 ~ 200 m 间随深度增加而浓度下降 (表 1)。但各个海域不同水层的 Chl α 浓度分布差异较大, 楚科奇海陆架区水深较浅, Chl α 浓度高, 分布范围为 $0.039 \sim 30.390 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, 水柱平均浓度为 $2.296 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ 。尤其在 R07 站的底层 (36 m) 出现低温 (-0.598°C)、低盐 (32.525)、高营养物质浓度 ($\text{NO}_3\text{-N}$: $9.39 \mu\text{M}$, $\text{PO}_4\text{-P}$: $1.25 \mu\text{M}$, $\text{NH}_4\text{-N}$: $0.35 \mu\text{M}$) 的海水, 而 Chl α 浓度出现 $30.390 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ 的极大值。陆坡流区的水柱平均浓度为 $1.167 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, 仅次于陆架区居第二位; 在 S11 站 30 m 水层出现 $39.008 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ 的观测区最大值, 明显抬高该水层的平均浓度 ($4.169 \mu\text{g}/\text{dm}^3$)。海台区水深约 3 000 m, 水温低 ($< 0^\circ\text{C}$), 上层海水盐度低, 营养物质贫乏, 30 m 层 Chl α 浓度为 $0.791 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, 在其下层随深度的增加 Chl α 浓度逐渐降低, 深度 75 ~ 200 m 的深层水 Chl α 浓度均低于 $0.10 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, 水深 150 m ~ 200 m 水层的浓度为 $0.013 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ 。海盆和海岭区 Chl α 浓度更低, 其最

大值同样出现在次表层,海岭区高值出现在 30 m层,海盆区最大浓度延伸至 50m层;次表层以下的 Chl α 浓度随深度增加而降低,海盆区 200m层的平均浓度仅 0.007 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ 。观测区各观测水层以及水柱平均 Chl α 浓度基本表现为陆架区>陆坡流区>海台区>海岭区>海盆区。水柱积分平均浓度为 1.292 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (表 1)。与 1993年夏季楚科奇海陆架区 30~40 m的次表层平均 Chl α 浓度>1.0 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$,陆架外缘的深海区浓度<0.1 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ^[4];2002年夏季阿拉斯加近岸的楚科奇海陆架区深度 25 m的次表层平均 Chl α 浓度>2 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$,而表层浓度<0.5 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$,沉积物表层浓度>1.0 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的分布趋势基本一致^[5,6]。

2.2 海水中浮游植物的粒级结构

细胞粒径<20 μm 的浮游植物是海洋中光能自养浮游生物的重要组成部分。因其代谢活性高,繁殖快,在寡营养与低生物量海区往往占据浮游植物生物量的主导地位^[19~21]。北冰洋典型站位粒级结构分析结果表明,楚科奇海陆架区浮游植物现存量高,典型站位的平均 Chl α 总浓度为 2.795 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$,以细胞粒

径>20 μm 的 Micro级份微小型浮游植物为主,对总 Chl α 浓度的贡献率为 59%,细胞粒径 2.0~20 μm 的 Nano级份微型浮游植物和粒径<2.0 μm 的 Pico级份微微型浮游植物的贡献率基本相同,分别为 21%和 20%。陆坡流区 Micro级份、Nano级份和 Pico级份三者对总 Chl α 浓度的贡献率比较接近,分别为 30%、31%和 39%,但小细胞的 Nano+Pico级份浮游植物的总贡献率(70%)高于大细胞的 Micro级份(表 2)。海盆和海岭区的浮游植物现存量低,水柱平均 Chl α 浓度均低于 0.10 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$,其由细胞粒径小于 20 μm 的 Nano+Pico级份浮游植物的贡献占绝对优势,Pico级份、Nano级份和 Micro级份三者对海盆区总 Chl α 浓度的贡献率分别为 66%、22%和 12%,对海岭区的贡献率分别为 45%、41%和 14%(图 3)。

综观北冰洋观测区 Pico级份、Nano级份和 Micro级份三者的贡献率分别为 39%、25%和 36%。Gosselin等在 1994年的北极考察中发现楚科奇海陆架区>5 μm 的大粒径浮游植物生物量对总生物量的贡献率为 61~98%,在冰雪覆盖率约 90%的北部深海区 0.7~5 μm 的小粒径浮游植物对总生物量的贡献率

表 1 北冰洋观测区不同海域叶绿素 α 浓度 ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$) 垂直分布

Table 1 The vertical distribution of chlorophyll α concentration ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$) in the different surveyed area

深度 depth /m	楚科奇海陆架 Chukchi Shelf (n=34)	楚科奇海台 Chukchi Plateau (n=12)	陆坡流区 Slope Gyral (n=11)	加拿大海盆 Canada Basin (n=11)	门捷列夫海岭 Mendeleev Rise (n=5)	全观测区 Surveyed Area (n=73)
0	1.106	0.128	0.267	0.082	0.149	0.612
10	1.557	0.121	0.219	0.082	0.114	0.837
20	3.462	0.149	0.319**	0.059**	/	2.786
30	3.787	0.791	4.169	0.124	0.395	2.580
50	1.890*	0.323	0.439	0.382	0.126	1.063
75	0.730*	0.045	0.147**	0.103	0.038	0.168
100	0.073*	0.021	0.065**	0.019	0.027	0.035
150	0.035*	0.013	0.050**	0.008	0.015	0.024
200	/	0.013	0.030**	0.007	0.013	0.016
平均值 Average	2.296	0.170	1.167	0.091	0.084	1.292

注: * 站位数<34. ** 站位数<11

表 2 北冰洋粒度分级 Chl α 浓度 ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$) 及其贡献比率

Table 2 The size-fractionated chlorophyll α concentration and its contribution rate

项目 Item	陆架区		陆坡流区		海盆区		海岭区		平均值	
	Shelf (n=4)		Slope Gyral (n=1)		Basin (n=2)		Rise (n=1)		Average (n=8)	
	Chl α	%	Chl α	%	Chl α	%	Chl α	%	Chl α	%
Micro级份	1.800	59	0.028	30	0.009	12	0.007	14	0.812	36
Nano级份	0.533	21	0.029	31	0.018	22	0.019	41	0.254	25
Pico级份	0.462	20	0.037	39	0.055	66	0.021	45	0.245	39
Sum合计	2.795	100	0.095	100	0.082	100	0.047	100	1.311	100

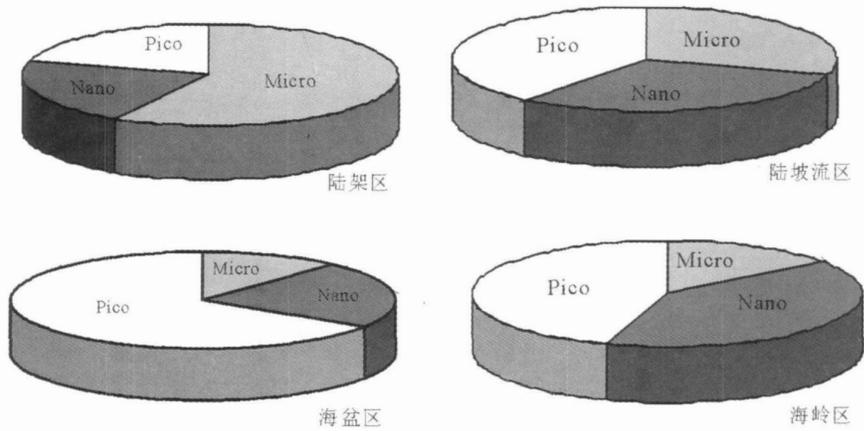


图 3 北冰洋不同观测区浮游植物粒级结构

Fig 3 The size-fractionated chlorophyll α concentration in the different surveyed area

为 59% ~ 88%, 对总初级生产力的贡献率为 64%^[10]。可见微微型光合浮游生物是北冰洋深海区浮游生物群落中的重要组成部分, 它们在海洋生态系统的物质循环和能量流动中起着重要作用, 作者曾调查研究东南极普里兹湾毗邻陆架区及其东部海区同样得到类似的研究结果^[22]。ElSayed 和 Platt 等的早期研究表明, 在富营养物质且具较高生物现存量和生产力的海区, Micro 级份浮游植物占优势, 在低生物现存量和生产力的海域, Nano 级份和 Pico 级份浮游植物的贡献占优势^[20 21]。

2.3 沉积物 Chl α 浓度

海底表层是接纳上层水柱中颗粒有机物的宿地, 海水中的光合浮游生物能够沉降到沉积物中并继续生长, 为底栖动物的生存与生长提供营养物质, 并且影响沉积物—海水界面的溶解氧浓度, 从而改变沉积物与上层水柱的营养盐交换^[11 12]。北冰洋 10 个观测站沉积物表层 Chl α 浓度从未能检出至 3 978 $\mu\text{g/g}$ (湿泥), 平均浓度为 0 954 $\mu\text{g/g}$ (湿重)。表层 0~1 cm 层的浓度最高, 除 B78、B80 和 P23 站均未能检测出叶绿素 α 浓度外, 其余 7 个测站表层泥的平均 Chl α 浓度为 2 297 $\mu\text{g/g}$ (湿泥), 下层的浓度呈依次下降趋势(表 3)。楚科奇海陆架区水浅, 沉积物中 Chl α 浓度较高, R06、R10、C17、C21 和 R12a 站表层 0~1 cm 泥样中的浓度在 1 398~3 978 $\mu\text{g/g}$ (湿泥), 平均值为 2 714 $\mu\text{g/g}$ (湿泥)。陆架区沉积物大多为粉沙质泥样, 有机质含量高, 底栖生物活动频繁, 经常可见沙蚕、星虫、甲壳类的小螃蟹、软体动物的贝壳类、海星、海蛇尾等底栖生物^[16]。由于底栖生物的扰动过程, 使得 0~12 cm 厚的上层沉积物不太稳定, 生物呼吸、摄食、生长活动以及间隙水的交换等物理过程

都可使沉积表层和界面悬浮层中的光合生物和底上生物带入较深泥层, 在 10 cm 以下的沉积泥层中也能检测到 Chl α 浓度分布, 但浓度大大降低, 呈现从表层向下层降低的分布趋势(图 4)。而沉积泥样中的 Pheop 浓度较高, 各层次平均 Chl α 浓度仅为平均 Pheop 浓度的 21.67%(表 3)。楚科奇海陆架区 R06、R10、C17 和 C21 站、陆坡流区 S11 站 0~5 cm 厚的沉积物中和 R12A 站表层 0~1 cm 泥层均有较高的 Chl α 浓度, 海岭区 M07 站表层有少量的 Chl α 浓度分布。海台区的 P23 站和海盆区的 B80 站以及未在图 4 中显示出的 B78 站均未能检出 Chl α 浓度(图 4)。深海区海水中光合浮游生物较少, 现存生物量低, 上层水柱中仅存在少量的颗粒物下降与沉淀。海台和海盆区 3 测站的表层沉积物为青灰色硬质粘土, 硬质海泥不适于海底生物的生存环境, 因而深海区现存生物量极低。但是否与海底涡流或洋流使上层沉降的颗粒物难以沉淀聚集在海底表层尚待未来的极地科学考察中注重深入探讨研究。

比较 7 个观测站的沉积物中 Chl α 浓度与上层水柱平均 Chl α 浓度的关系, 其对应比值为 10.83%~118.42%, 平均值为 31.58%(表 4)。高比率出现在 C21 站, 该站水深 42 m Chl α 浓度垂直分布从表至底呈递增趋势, 近底层(40 m)冰样的 Chl α 浓度高达 3 727 $\mu\text{g/dm}^3$, 分别比其上方 0 m 层的浓度(0 127 $\mu\text{g/dm}^3$)、10 m 层(0 132 $\mu\text{g/dm}^3$)、20 m 层(0 122 $\mu\text{g/dm}^3$)和 30 m 层(0 817 $\mu\text{g/dm}^3$)分别高 29 倍、28 倍、30 倍和 4.6 倍。接近海底的海水中出现的高生物现存量极易与海底界面或浮泥层混合或许直接沉降到界面浮泥层以及沉积物表层, 使沉积物表层 Chl α 浓度高于其上方水柱平均 Chl α 浓度。李

宏亮等在相同海区同步观测的含有高生物硅浓度分布,作者观测的有机碳同位素的数据也表明楚科奇海沉积有机碳以海洋自身来源为主 ($\delta^{13}C_{org} - 22.1\% \sim -22.8\%$),郝玉和龙江平以 C/N 比值研究结果表明北冰洋海底沉积物中有机质主要来源于海洋自身,Matheke 等的研究结果表明,在短暂的北极夏季,巴

罗近岸沉积物表层 $Chl\alpha$ 浓度高达 321 mg/m^2 ,潜在初级生产力为 $0.5 \sim 57\text{ mgC/m}^2 \cdot \text{h}$ 是高生物现存量和高生产力的海域^[11, 14-16]。这些研究均表明北冰洋陆架区海底沉积物中有机物质由生物泵产生的有机碳的保存效率很高^[13]。

表 3 沉积物叶绿素 α 和脱镁色素浓度 ($\mu\text{g/g}$ 湿泥) 垂直分布

Table 3 The vertical distributions of $Chl\alpha$ ($\mu\text{g/g}$) and Pheop ($\mu\text{g/g}$) in the different surveyed area

泥层深度 /cm	$Chl\alpha$ 浓度 /($\mu\text{g/g}$)	$Chl\alpha$ 分布范围 Range /($\mu\text{g/g}$)	脱镁色素浓度 + Pheop /($\mu\text{g/g}$)	Pheop 分布范围 Range /($\mu\text{g/g}$)	$Chl\alpha / (Pheop \times 100) \%$
0~1	2.297	0.067 ~ 3.978	5.169	0.654 ~ 10.22	4.44
1~2	1.146	0.029 ~ 1.814	4.563	0.633 ~ 6.739	25.12
2~3	1.025	0.026 ~ 1.561	4.793	0.461 ~ 7.297	21.38
3~4	0.985	0.004 ~ 1.856	5.816	0.155 ~ 14.34	16.94
4~5	1.070	0.009 ~ 2.463	6.211	0.201 ~ 19.47	17.23
5~6	0.722	0.012 ~ 1.377	3.859	0.301 ~ 5.929	18.71
6~7	0.796	0.001 ~ 1.751	3.816	0.051 ~ 5.847	20.86
7~8	0.838	0.001 ~ 1.685	5.034	0.053 ~ 10.29	16.65
8~10	0.539	0.001 ~ 1.751	3.479	0.059 ~ 5.196	15.49
11~12	0.445	0.001 ~ 0.963	2.802	0.056 ~ 4.856	15.88
平均值 Average	0.963	/	4.444	/	21.67

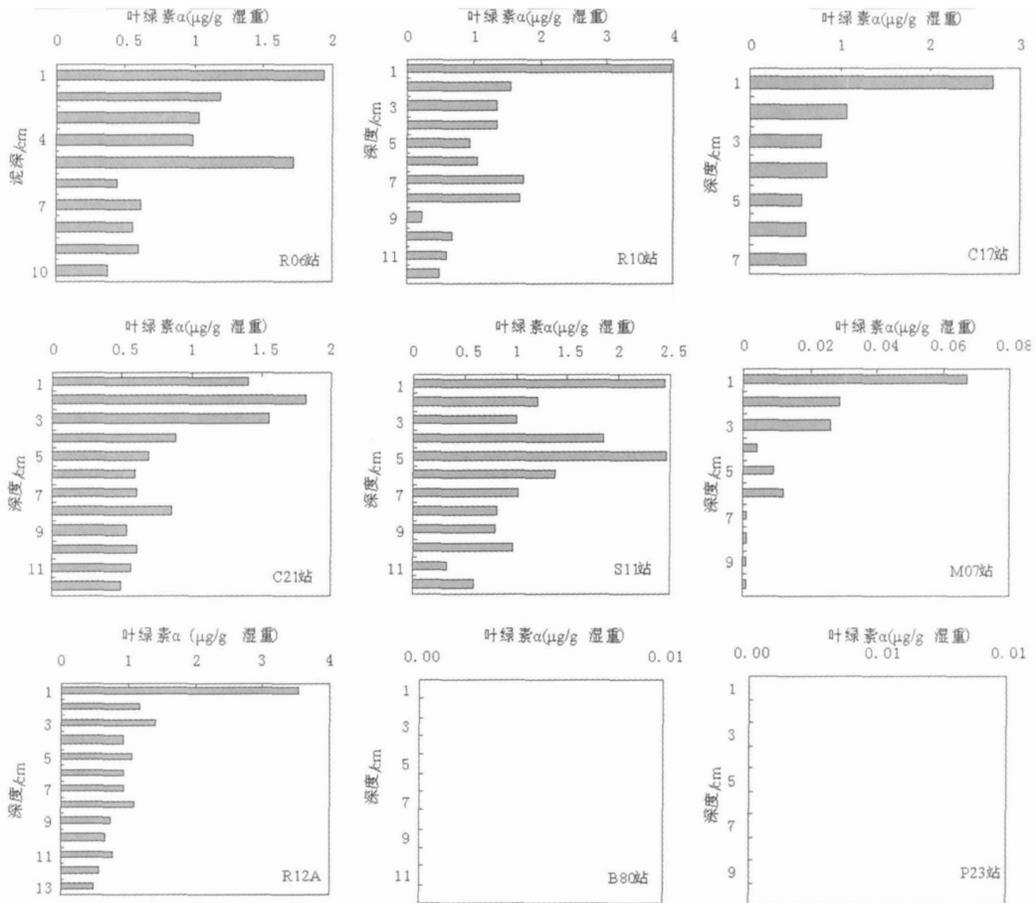


图 4 北冰洋沉积物观测站叶绿素 α 浓度垂直分布

Fig 4 The vertical distributions of chlorophyll α in the sediment of the surveyed stations Arctic Ocean

表 4 北冰洋沉积物叶绿素 α 浓度与其上方水柱平均浓度的对应关系Table 4 The corresponding relationship of chl α in the sediments and the average chl α of the water column in Arctic Ocean

项目	R06	R10	R12a	C17	C21	S11	M07	P27	B78	B80	平均值 (n=7)
水柱浓度 / ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)	2.544	2.233	1.234	2.406	0.749	11.473	0.064	0.069	0.065	0.076	2.958
沉积物浓度 / ($\mu\text{g}/\text{g}$ 湿重)	0.949	1.308	1.107	1.032	0.887	1.243	0.015	未检出	未检出	未检出	0.934
比值 / %	37.30	58.58	89.71	42.89	118.42	10.83	23.44	/	/	/	31.58

3 小结

(1) 北冰洋观测海区海水 Chl α 浓度为 0.002 ~ 39.008 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, 表层浓度为 0.037 ~ 4.644 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, 平均值为 0.612 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$; 高值出现在深度为 20 ~ 30 m 的次表层水。Chl α 浓度分布有明显的区域性特征, 楚科奇海陆架区 > 陆坡流区 > 楚科奇海台区 > 加拿大海盆区 > 门捷列夫海岭区; 垂直分布呈现真光层内浓度随深度增加而增高, 真光层下浓度随深度增加而降低。

(2) 观测区高生物现存量的楚科奇海以 Micro 级份浮游植物为主, 对总 Chl α 浓度的贡献占优势, Nano 和 Pico 级份浮游植物的贡献率低且较接近; 陆坡流区三者的贡献率大体相当; 海盆和海岭区生物现存量低, Pico 级份浮游植物的贡献占优势。

(3) 沉积物中 Chl α 浓度从未检出 ~ 3.978 $\mu\text{g}/\text{g}$ (湿泥), 陆架区和陆坡流区沉积物中的浓度较高, 表现为自表层向深层降低的分布趋势; 海岭区 Chl α 浓度低, 海盆和海台区未能检测出 Chl α 浓度。观测站沉积物中平均 Chl α 浓度约占上方水柱平均浓度的 31.58%。

致谢 本研究工作得到国家海洋局极地办公室和雪龙船船员的鼎力支持, 海洋组全体考察队员在样品采集等方面给予的支持, 特此致谢。

参考文献 (References)

- Stein R, Fahl K. Hobocene accumulation of organic carbon at the Laptev Sea continental margin (Arctic Ocean): sources, pathway and sinks [J]. *Geo-Marine Letters* 2000, 20: 27-36
- Feder H M, Naidu A S, Jewett S G, et al. The northeastern Chukchi Sea benthos-environmental interactions [J]. *Marine Ecology-Progress Series* 1994, 111: 171-190
- Cooper L W, Whitedge T E, Greinmer J M, et al. The nutrient salinity and stable oxygen isotope composition of Bering and Chukchi Sea waters in and near the Bering Strait [J]. *Journal of Geophysical Research* 1997, 102: 12563-12573
- Cota G, Pomeroy L R, Harrison W G, et al. Nutrients, primary production and microbial heterotrophy in the south-eastern Chukchi Sea: Arctic summer nutrient depletion and heterotrophy [J]. *Marine Ecology-Progress Series* 1996, 135: 247-258
- Hill V, Cota G. Spatial patterns of primary production on the shelf slope and basin of the Western Arctic in 2002 [J]. *Deep-sea Research II* 2005, 52: 3344-3354
- Walsh J J, Dieterle D A, Maslowski W, et al. A numerical model of seasonal primary production within the Chukchi/Beaufort Seas [J]. *Deep-sea Research II* 2005, 52: 3541-3576
- Roach A T, Aagaard K, Pease C H, et al. Direct measurements of transport and water properties through the Bering Strait [J]. *Journal of Geophysical Research* 1993, 100(C9): 18443-18457
- Stein R, Macdonald R W. The organic carbon cycle in the Arctic Ocean [J]. Springer Press 2003, 1-81: 193-203
- Walsh J J, McRoy C P, Coadman L K, et al. Carbon and nitrogen cycling within the Bering/Chukchi Sea: Source regions for organic matter effecting AOU demands of the Arctic Ocean [J]. *Progress in Oceanography* 1989, 22: 277-359
- Gosselin M, Levasseur M, Wheeler P A, et al. New measurements of phytoplankton and ice algal production in the Arctic Ocean [J]. *Deep-Sea Research (Part II)* 1997, 44(8): 1623-1644
- Matheke G E, Homer M R. Primary productivity of benthic microalgae in the Chukchi Sea near Barrow, Alaska [J]. *Journal of Fish Research Bd Can* 1974, 31: 1279-1286
- Rysgaard S, Rysgaard P N, Sloth N R, et al. Oxygen regulation of nitrification and denitrification in sediments [J]. *Limnol Oceanogr* 1994, 39(7): 1643-1652
- 陈建芳, 张海生, 金海燕, 等. 北极陆架沉积埋藏及其在全球碳循环中的作用 [J]. *极地研究*, 2004, 16(3): 193-201 [Chen Jianfang, Zhang Haisheng, Jin Haiyan, et al. Accumulation of sedimentary organic carbon in the Arctic shelves and its significance on global carbon budget [J]. *Chinese Journal of Polar Research* 2004, 16(3): 193-201]
- 李宏亮, 陈建芳, 刘子琳, 等. 北极楚科奇海和加拿大海盆南部颗粒生物硅的粒级结构 [J]. *自然科学进展*, 2007, 17: 72-78 [Li Hongliang, Chen Jianfang, Liu Zilin, et al. Size structure of particulate biogenic silica in the Chukchi Sea and the southern Canada Basin [J]. *Advances in Nature Science* 2007, 17: 72-78]
- 陈志华, 石学法, 蔡德陵, 等. 北冰洋西部沉积物有机碳、氮同位素特征及其环境指示意义 [J]. *海洋学报*, 2006, 28(6): 61-71 [Chen Zhihua, Shi Xuefa, Cai Deling, et al. Organic carbon and nitrogen isotopes in surface sediments from the western Arctic Ocean and their implications for sedimentary environments [J]. *Acta Oceanologica Sinica* 2006, 28(6): 61-71]
- 郝玉, 龙江平. 北极楚科奇海海底表层沉积物有机碳的生物地球化学特征 [J]. *海洋科学进展*, 2007, 25(1): 63-72 [Hao Yu, Long

- Jiangping. Biogeochemical characteristics of organic carbon in surface sediments from the Chukchi Sea[J]. *Advances in Marine Science* 2007, 25(1): 63-72]
- 17 国家技术监督局. 海洋调查规范—海洋生物调查[S]. GB-12763.6 中华人民共和国国家标准, 1991: 1-21[State Technical Supervision Administration (STSA). GB 12763.6 The Specification for Oceanographic Survey/Marine Biological Survey. Beijing, 1991: 1-21]
- 18 Parsons T R, Maiti Y, Lalli C M. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis[M]. Pergamon Press, 1984: 101-173
- 19 El-Sayed S Z, Taguchi S. Primary production and standing crop of phytoplankton along the ice-edge in the Weddell Sea[J]. *Deep-Sea Research* 1981, 28: 1017-1032
- 20 Platt T, Subba Rao D V, Irwin B. Photosynthesis of picoplankton in the oligotrophic ocean[J]. *Nature* 1983, 301(5902): 702-704
- 21 Stevenson R J. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats[C] // *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. San Diego: Academic Press, 3-30
- 22 刘子琳, 史君贤, 陈忠元, 等. 1991/1992年夏季南极普里兹湾邻近海域浮游植物现存量、初级生产力和颗粒有机碳的分布[C]. 中国海洋学文集(9), 1998: 55-66[Liu Zilin, Shi Junxian, Chen Zhongyuan et al. Distributions of standing crop and primary productivity of phytoplankton and Particulate Organic Carbon in Prydz Bay and the Adjacent Area during Austral Summer of 1991/1992[C]. *Oceanography in China* (9), 1998: 55-66]

The Areal Characteristics of Chlorophyll α Distribution in the Sediments and Seawater in the Surveyed Area Arctic Ocean

LIU Zi-lin^{1, 2} CHEN Jian-fang^{1, 2} LIU Yan-lan³ ZHANG Hong²
CHEN Zhong-yuan^{1, 2} ZHANG Hai-sheng^{1, 2}

(1. Key Laboratory of Oceanic Ecosystem and Biogeochemistry, SIO, SOA, Hangzhou 310012

2. Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012

3. Hangzhou Radio and Television University, Hangzhou 310012)

Abstract Investigations of chlorophyll α was carried out in the seawater and sediment in the Chukchi Sea, Chukchi Plateau, the Slope-flow area, the Mendeleev Ride and the Canada Basin during the 2nd Chinese National Arctic Research Expedition in the summer of 2003. The results showed that chlorophyll α concentrations were 0.002 ~ 39.008 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ at the surveyed waters; the surface chlorophyll α concentrations were 0.037 ~ 4.644 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ and the average value was 0.612 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ in the surveyed area. Chlorophyll α concentrations at the depths 20 ~ 30 m of the subsurface water were higher than that in the surface and under layer. Chlorophyll α concentration distribution was obviously areal characteristics. The areal arrange order of the water-column chlorophyll α concentration is the Chukchi Sea > the Slope-flow area > the Chukchi Plateau > the Canada Basin > the Mendeleev Ride. Chlorophyll α concentrations were 0 ~ 3.978 $\mu\text{g}/\text{g}$ (wet mug) in the sediment of the surveyed stations, and the average value was 0.934 $\mu\text{g}/\text{g}$ (wet mug) in 7 surveyed stations. Chlorophyll α concentrations at the surface sediments were higher than that in the under-layer. The areal arrange order of the sediments chlorophyll α concentration is the Chukchi Sea > the Slope-flow area > the Mendeleev Ride, and chlorophyll α concentration can not be examined in the sediments of the Chukchi Plateau and the Canada Basin.

Key words chlorophyll α , sediment and seawater, areal, the Arctic Ocean