

太平洋表层水某些生物海洋学要素和 颗粒谱的分布规律研究*

王 荣 林雅蓉
(中国科学院海洋研究所, 青岛)

刘 孝 贤
(山东工业大学, 济南)

提要 中国第一次南极考察时(1984—1985),由上海至合恩角往返两次横渡太平洋,途中在76个测点做了表层温度、盐度、营养盐($\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_3\text{-Si}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$),植物色素(叶绿素a和脱镁叶绿酸a)和颗粒有机物($0.89\text{--}114\mu\text{m}$)含量的分析测定。计算了这些要素间的相关系数,并用主成份分析法分析了对分布格局起决定作用的主要因素。

营养盐、叶绿素a和POM的分布,表现了相似分布格局,表明北太平洋和南太平洋的亚热带大涡旋区最贫瘠,赤道上升流区(宽约5个纬度)是相对高营养的,由北向南穿过亚热带辐合带进入亚南极区营养盐和生物量急剧增加。在叶绿素a与POM和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 之间; $\text{NO}_3\text{-N}$ 与 $\text{PO}_4\text{-P}$ 之间存在很强的正相关。温度和盐度与上述几个要素则存在明显负相关。主成份分析表明,肥力特别是硝酸盐含量,是决定生物要素分布格局的重要因素。在热带和亚热带区,POM含量低,颗粒谱低平,各粒度级浓度趋向一致。亚南极区不仅POM浓度高,而且颗粒谱峰值明显,硅藻形成明显优势。

1984—1985年,我国首次赴南极考察时,“向阳红10号”考察船在上海至合恩角之间往返两次横渡太平洋。途中布设了76个测点(图1),采取表层海水,测定了海水中的叶绿素a(Chl)和脱镁叶绿酸a(Pha)的含量,测定了悬浮有机颗粒(POM)的含量和颗粒谱,并保留了水样供颗粒物质的显微镜检查。同时测定了温度(T)、盐度(S),还做了磷酸盐($\text{PO}_4\text{-P}$)、硅酸盐($\text{SiO}_3\text{-Si}$)、硝酸盐($\text{NO}_3\text{-N}$)和亚硝酸盐($\text{NO}_2\text{-N}$)含量的分析。

两条断面(去时为A断面,返航时为B断面)东西横跨160个经度,南北纵穿85个纬度,测点覆盖着太平洋上的几个主要水团和从北温带到亚南极区的几个气候带。这为从宏观上了解太平洋生物海洋学要素的分布规律提供了难得的资料。观测是在18节的航速下不停航完成的。这样大的跨度首尾相距仅24—25天,大大提高了各测点资料的可比性。本文是要通过这些资料补充对太平洋生物海洋学某些基本要素时空变化的了解,并

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1551号。

营养盐资料由南大洋考察队提供,夏娃同志协助整理资料和绘图,顾宏堪研究员、马锡年副研究员、范守志副研究员和张宛桥同志曾审阅原稿并提出宝贵意见,均此一并志谢。

收稿日期:1988年3月4日。

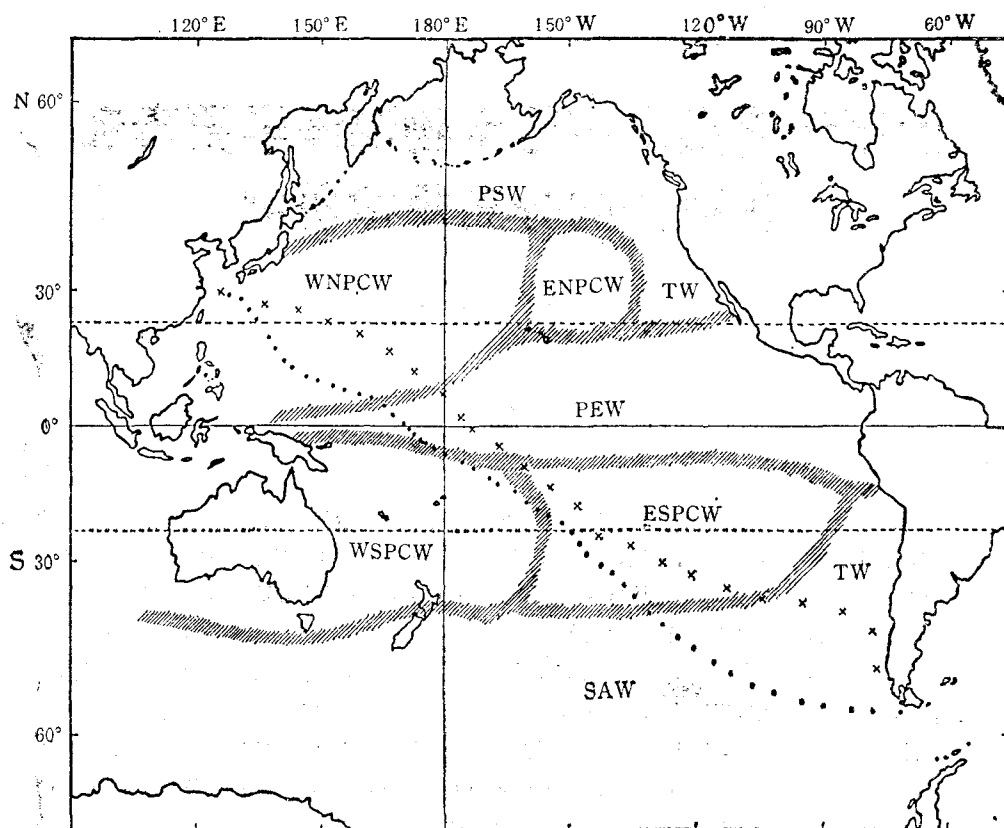


图1 测点位置

Fig. 1 Station positions

..... 代表去南极时的测点, $\times\times\times\times\times$ 代表返航时的测点, 图中阴影线标出水团边界 (据 Sverdrop 等) 以供参考; PSW 为亚北极水团, WNPCW 为北太平洋西部中央水团, ENPCW 为北太平洋东部中央水团, PEW 为赤道水团, WSPCW 为南太平洋西部中央水团, ESPCW 为南太平洋东部中央水团, SAW 为亚南极水团, TW 为过渡水团。

分析制约这些变化的规律。

一、材料与方 法

表层海水是用特制的水桶 (容量为 3L) 在船首部位提取。提取后立即用 $1/10^{\circ}\text{C}$ 刻度温度计测水温, 然后分装进行各种分析。

叶绿素 a 和脱镁叶绿酸 a 的测定采用酸化法^[11]。取 50ml 海水用 GF/F 玻璃纤维滤膜抽滤, 用 10% 丙酮提取, 用 Turner Designs 荧光光度计测酸化前后的荧光值。用王荣修正过的公式计算含量^[1]。

POM 于采水后马上用库尔特计数器计数^[12], 样品用 $50\mu\text{m}$ 和 $280\mu\text{m}$ 孔管轮换测定, 得出 $0.89-114\mu\text{m}$ 共 21 个通道的颗粒数, 各通道颗粒数乘以体积再求积得出悬浮有机颗粒的总浓度, 换算为体积的百万分之一单位浓度 (ppm, v/v)。各通道之分浓度用于绘制颗粒谱。

每个测点取 700ml 海水用鲁格氏液固定, 沉淀一周后浓缩保存, 用以做颗粒物质的显微镜检查。

盐度用 WUS 型感应式盐度计测定。磷酸盐以船用分光光度计用磷钼蓝法测定。硅酸盐以船用分光光度计用硅钼黄法测定。硝酸盐以 UV-120 型分光光度计用锌镉还原重氮偶氮法测定。亚硝酸盐以 UV-120 型分光光度计用重氮偶氮法测定。

照度未测定, 用太阳高度 (SH) 代替。

$$SH = 90^\circ - |L - L'|$$

式中, L 为当地纬度, L' 为当时赤纬。

二、结 果

76 个测点中有 5 个位于陆架区或 200 海里以内。为了显示大洋区的分布规律, 这 5 个测点不包括在绘图和统计分析(相关分析和主成份分析)之内。几个主要要素沿 A, B 断面的变动情况见图 2。图中斜线(主轴)相当于麦卡托投影图上断面两端测站间的连线, 各测点沿子午线投影到这条线上并标出观测值的高度。

1. 分布

去、返两条断面所显示的各要素分布规律大体相似, 尽管取值和变动幅度有所不同。

A 断面 考察时(1984 年 11 月 23 日—12 月 18 日)正置北半球的秋末冬初、南半球的春末夏初。从营养盐看, 北太平洋西部边缘区略高, 进入北太平洋西部中央水团之后含量迅速降低。大部分测站磷酸盐含量在 $0.08—0.20 \mu\text{mol/L}$ 之间。硝酸盐甚至更低, 不少测站在 $0.10 \mu\text{mol/L}$ 以下。叶绿素 a 含量也同步地下降到 $0.1 \mu\text{g/L}$ 以下。POM 的变化与叶绿素 a 基本上是平行的, 在这一海域也降到最低水平, 但在某些测点变化不完全一致, 这取决于 POM 的组成。

在赤道附近有一营养盐的高值区。从磷酸盐、硝酸盐和亚硝酸盐的分布上都可以明显地看出。尤以硝酸盐最显著, 其含量较之南、北两侧高出数十倍。我们认为, 这是由于赤道辐散带附近深层水的涌升, 即赤道上升流造成的^[14]。深层冷水的涌升从表层水温的分布上也可以反映出来。这一高营养盐区也是一个明显的低温区, 表温比南北两侧要低 $0.8—1.4^\circ\text{C}$ 。赤道以北最高水温出现在 15 站 ($4^\circ 22.2' \text{N}$), 为 29.0°C ; 赤道以南最高为 22 站 ($6^\circ 11.0' \text{S}$), 为 29.4°C , 而 17 站 ($0^\circ 23.3' \text{N}$) 和 18 站 ($0^\circ 30.6' \text{S}$) 分别为 28.0°C 和 28.2°C 。南北呈马鞍形分布。叶绿素 a 含量在这条带内也高出两侧数倍。POM 的变化不如叶绿素 a 明显。从表温、营养盐和叶绿素 a 等的变化看, 这条带的宽度相当于 5 个纬度, $1^\circ \text{N}—4^\circ \text{S}$, 其中心在赤道南侧。

从赤道辐散带向南直至南半球的亚热带辐散带(位于 32°S 左右), 测点是在南太平洋大涡旋区的范围内。同北太平洋一样, 这里也是太平洋最贫瘠的海区之一, 营养盐、叶绿素 a 和 POM 再次降低到最低水平。从 36 站开始向南, 营养盐、叶绿素 a 和 POM 有一个跳跃式的变化。在纬度 1 度多一点的范围内, 磷酸盐提高了约 16 倍(从 0.11 到 $1.75 \mu\text{mol/L}$), 硝酸盐提高了 55 倍(从 0.05 到 $2.73 \mu\text{mol/L}$)。这种变化只有在通过某水文学界面时才会发生。从纬度上看, 这一界面应该是亚热带辐散带^[10]。从温、盐变化上, 特别是盐度, 可以觉察到这一界面的存在。叶绿素 a 和 POM 的变化同样是突然的, 但较

之营养盐要滞后一些,从平面分布上看大约滞后两个站位,即从 38 站向南才显著提高。

各项生物海洋学要素在通过亚热带辐合带进入亚南极区后再次表现飞跃式变化。这一位置相当于 41 站 ($44^{\circ}20.8'S$)。从这里向南直到合恩角,营养盐、叶绿素 *a* 和 POM 一直维持本考察的最高水平。与最贫瘠的亚热带大涡旋区相比,磷酸盐提高了 1 个数量级,硝酸盐高 2—3 个数量级,叶绿素 *a* 和 POM 也高出 1 个数量级。

亚硝酸盐与硝酸盐的变化基本上是平行的,但变动幅度前者不如后者大。硅酸盐的变化在热带和亚热带区大体上也与硝酸盐等平行。但在亚南极区却出现了不同情况,当硝酸盐增加两个数量级时硅酸盐仍保持很低的水平。

B 断面 时 (1985 年 3 月 11 日—4 月 4 日) 处南半球的秋季、北半球的春季。与 A 断面相比,各要素水平有差异,但分布格局基本一致。赤道上升流区营养盐和叶绿素 *a* 含量的增高同样是明显的。这条带的位置几乎没有什么变动,仍在赤道偏南 ($0-5^{\circ}S$)。通过南半球亚热带辐散带时的跳跃式变化同样是明显的。这一变化出现在 57 和 58 站之间,大约在 $36^{\circ}30'S$ 处,比 A 断面偏南一些。这可能是因为两条断面通过亚热带辐散带的经度不同,也可能是亚热带辐散带的位置有季节变化。

综观各要素在两条断面上的分布,规律是清楚的。位于赤道南北的两个大涡旋区是太平洋上最贫瘠的海区,愈接近涡旋的中央愈贫瘠。赤道附近,由于上升流的存在,有一

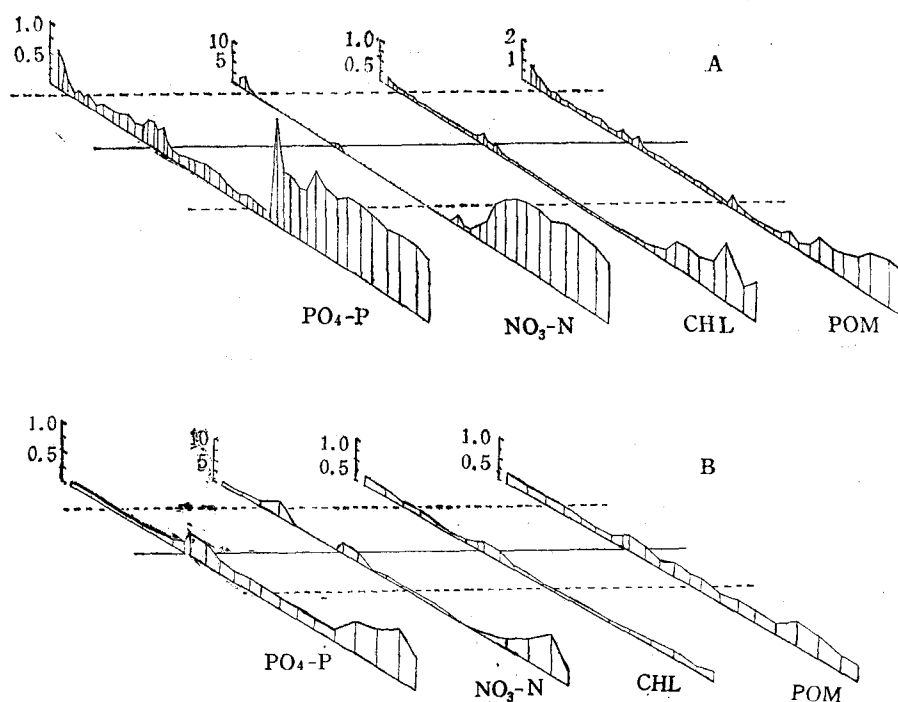


图 2 PO_4-P , NO_3-N , Chl 和 POM 的含量在 A, B 断面上的分布

Fig. 2 Distribution of PO_4-P , NO_3-N , Chl and POM concentration along station line A and B

—— 代表赤道; - - - - 代表南、北回归线。

个宽度不大的相对的高营养区。进入亚南极区,营养盐和生物量急剧增长。营养盐增长约两个数量级,浮游植物现存量和 POM 约增加一个数量级。从纬向上看,变化不是逐渐的而是阶梯式的。主要水文学界面构成了这种阶梯。而界面之间的同一水团内部变化却很小。

A, B 两断面代表着不同季节。两断面按 4 个区(水团)统计的各要素的平均值见表 1。大体可以看出纬度愈高两个断面的差值愈大。A 断面在南半球是春末夏初,营养盐、浮游植物现存量和 POM 可能仍处于高峰状态。而 B 断面(返航时)已是南半球的秋季,各要素明显降低。这种差别可能是由于两条断面不重合反映了空间分布的差异,但更可能反映了季节的变化。

表 1 各观测要素和几种比值的分区平均值

Tab. 1 Average values of observed elements and ratios between elements in different water masses

要 素	北太平洋中央水团 NPCW		赤道水团 EW		南太平洋中央水团 SPCW		亚南极水团 SAW		全部
	A	B	A	B	A	B	A	B	
T(°C)	27.5	23.6	28.4	27.2	26.0	25.7	10.9	17.7	22.6
S(‰)	34.640	35.042	35.319	35.085	35.393	35.417	34.414	33.988	34.909
PO ₄ -P(μmol/L)	0.23	0.07	0.35	0.30	0.20	0.19	1.11	0.62	0.42
SiO ₂ -Si(μmol/L)	0.56	0.24	0.45	0	0.03	0	0.51	0.13	0.28
NO ₂ -N(μmol/L)	0.09	0.10	0.17	0.32	0.05	0.13	0.16	0.18	0.12
NO ₃ -N(μmol/L)	0.50	0.04	0.56	1.53	0.17	0.03	11.26	5.39	2.92
Chl (μg/L)	0.0856	0.1194	0.1953	0.2238	0.0625	0.0562	0.4494	0.1940	0.1754
Pha (μg/L)	0.0154	0.0356	0.0365	0.0485	0.0099	0.0311	0.0116	0.0641	0.0224
POM (ppm)	0.4006	0.1854	0.3326	0.3347	0.3149	0.2689	0.9811	0.5357	0.4688
N/P	1.46	0.64	1.46	4.62	0.80	0.17	10.17	8.14	3.42
Chl/POM	0.21	0.61	0.58	0.67	0.21	0.22	0.41	0.36	0.34
Pha/Chl	0.18	0.33	0.19	0.21	0.16	0.58	0.07	0.34	0.22
POM-MV(μm ³)	3.34	2.90	2.46	4.80	2.24	3.75	4.02	3.97	3.29

研究一下各要素在不同观测值上的频数分布将有助于了解这些要素的变化特点。图 3a 是几个主要要素在测值范围内的频数(F)分布。它们都不是正态分布,峰值偏在低值部位。如果将测值限定在某一海洋学分区内,比如将所有中央水团的测值放在一起单独分析(图 3b),情况就有所不同:对制约因素明确和变化大的硝酸盐和叶绿素 a 仍然是偏峰式的分布;制约因素较多和相对保守一点的 POM 和磷酸盐则趋向于正态分布。

2. 各要素的相互关系

所观测的 10 项要素的相关矩阵(单相关)见表 2, 11—13 项为几种比例关系, 14 项为 POM 的平均体积。可以发现,许多要素间具有明显的相关关系($r_{0.01} = 0.302$),其中不少是高度相关。相关系数绝对值在 0.800 以上者有: 叶绿素 a-POM ($r = 0.894$), 叶绿素 a-硝酸盐 ($r = 0.807$), 硝酸盐-磷酸盐($r = 0.815$), POM-硝酸盐($r = 0.803$); 温度-硝酸盐 ($r = -0.877$), 温度-磷酸盐 ($r = -0.812$)。

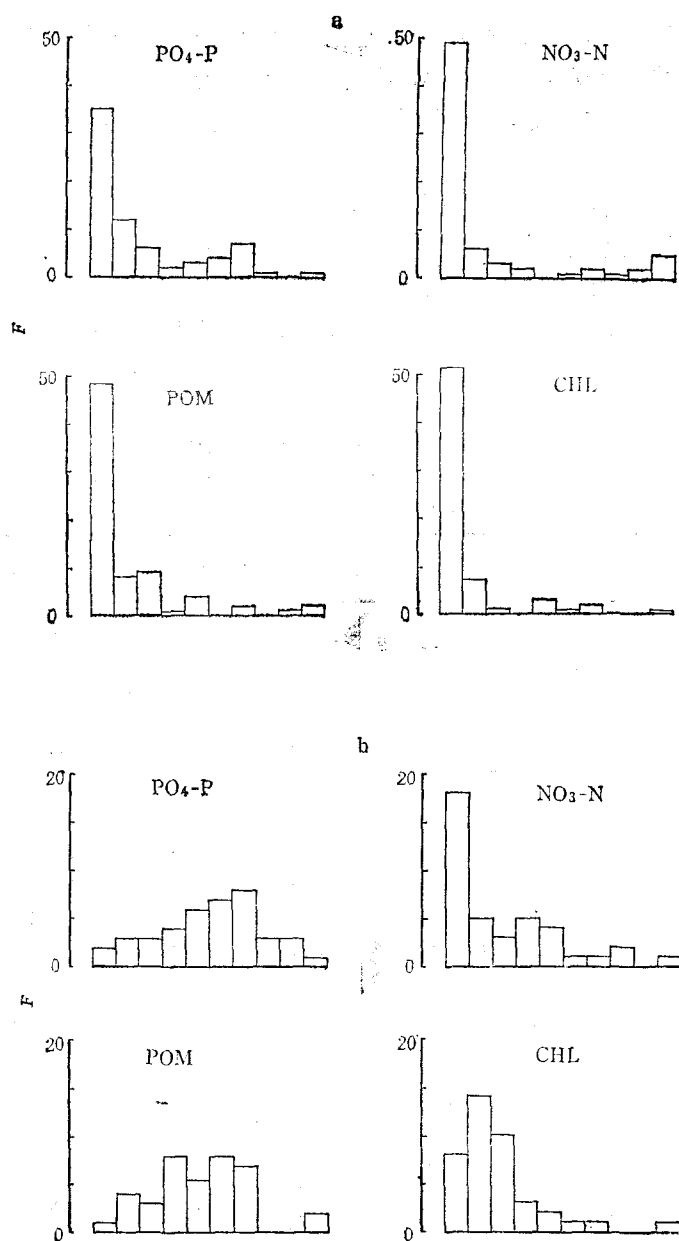


图3 71个大洋测点(a)和中央水团40个测点(b) PO₄-P, NO₃-N, Chl 和 POM 含量在不同测值上的分布

Fig. 3 Frequency distribution of PO₄-P, NO₃-N, Chl and POM concentration at different levels at 71 oceanic stations (a) and 40 stations in central water masses (b).

横坐标为浓度, 由最小值(左)至最大值(右)分10等分; 纵坐标为频数。

叶绿素 a 与 POM 之间高度的正相关说明, 在太平洋大洋区, 0.89—114 μm 的 POM 主要是含叶绿素 a 的自养生物, 或者说直接或间接来自这些自养生物。叶绿素 a 与硝酸盐的相关则说明, 在太平洋大洋区, 硝酸盐是浮游植物生长繁殖的最重要的限制因子。相比

表 2 10 项要素与几种比值的相关(单相关)矩阵
Tab. 2 Matrix of correlation coefficient (simple correlation) for pairs of 10 elements
and ratios between elements

要素	T	S	SH	PO ₄ -P	SiO ₃ -Si	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Chl	Pha	POM	N/P	Chl/POM	Pha/Chl	POM-MV
1	1													
2	0.503	1												
3	0.215	0.576	1											
4	-0.812	-0.472	-0.201	1										
5	-0.209	-0.290	-0.319	0.259	1									
6	-0.241	-0.327	-0.158	0.290	0.203	1								
7	-0.877	-0.545	-0.307	0.815	0.272	0.429	1							
8	-0.680	-0.424	-0.197	0.807	0.017	0.058	0.807	1						
9	0.047	-0.154	-0.197	0.001	0.001	0.001	-0.088	0.894	1					
10	-0.686	-0.425	-0.383	0.589	0.064	0.384	0.803	0.894	-0.067	1				
11	-0.843	-0.564	-0.359	0.773	0.293	0.473	0.968	0.794	0.043	0.790	1			
12	-0.267	-0.207	0.020	0.174	0.081	0.328	0.429	0.483	0.429	0.431	0.330	1		
13	0.390	0.300	0.033	0.324	0.048	0.048	0.186	0.429	0.429	0.431	0.437	0.150	1	
14	-0.383	-0.390	-0.349	0.324	-0.011	0.532	0.481	0.620	0.164	0.621	0.489	0.229	-0.048	1

$F = 69; r_{0.01} = 0.302$

之下浮游植物对磷酸盐的依赖关系要差一些 ($r = 0.578$), 其现存量与硅酸盐似乎关系不大。POM 与硝酸盐的高度正相关在很大程度上是反映了叶绿素 a 与硝酸盐的相关, 因为 POM 与叶绿素 a 之间有着高度相关。

在营养盐之间, 硝酸盐与磷酸盐的相关系数相当高 ($r = 0.815$), 这说明这两种营养盐在大洋上层的移出移入规律是相似的。

温度与营养盐(主要是硝酸盐和磷酸盐)有着高度的负相关, 且通过营养盐与反映生物量的要素也表现了这个特点。盐度与营养盐、生物量的关系同温度相似, 因为温度与盐度有显著相关 ($r = 0.503$)。在观测海域内总的规律是: 高营养盐和高生物量区在高纬度, 其水文特点是低温低盐; 低营养盐和低生物量区在低纬度, 其水文特点是高温高盐。

3. 决定分布格局的主要因素

为了了解是什么要素控制着观测要素的变化和分布格局, 进行了主成份分析^[3,4]。对 71 个测站、10 个变量的计算所得出的特征值、贡献率及与各特征值对应的特征向量见表 3。

表 3 主成份分析特征向量、特征值和贡献率

Tab. 3 Eigenvectors, eigenvalues and contribution percentages in principal component analysis

项 目			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
特征向量	T	1	0.3972	-0.0833	0.0417	0.5990	0.0468	0.2501	0.4658	0.2478	0.2001	0.3023
	S	2	0.3085	0.7385	0.3764	-0.0974	0.0607	-0.1813	-0.0258	0.0850	-0.3129	0.2564
	SH	3	0.1934	-0.4437	0.5399	0.0434	0.2072	-0.0313	0.1575	-0.0963	-0.5061	-0.3720
	PO ₄ -P	4	-0.3748	0.3605	-0.0640	0.6842	-0.1044	0.0273	-0.0905	-0.0579	-0.2101	-0.4359
	SiO ₃ -Si	5	-0.1106	0.1968	-0.1486	-0.1052	0.9001	0.1762	0.1165	0.0766	0.1371	-0.1905
	NO ₂ -N	6	-0.2335	0.0996	0.5856	-0.0926	-0.1127	0.6581	-0.1437	-0.1126	0.3237	0.0088
	NO ₃ -N	7	-0.4355	0.0882	0.0342	-0.2933	-0.2250	0.0146	0.6517	0.4594	-0.1437	-0.0902
	Chl	8	-0.3933	-0.2482	0.2316	0.2003	0.2151	-0.2031	-0.4009	0.5175	-0.0904	0.4071
	Pha	9	-0.0092	0.0430	0.3670	0.0706	0.0080	-0.6074	0.1213	-0.0027	0.6339	-0.2699
	POM	10	-0.3976	-0.0310	0.0792	0.1040	0.1425	-0.1684	0.3390	-0.6491	-0.0871	0.4810
特征值			4.76	0.37	0.94	0.17	-0.21	0.59	0.08	0.09	1.49	0.73
贡献率(%)			50.5	3.9	10.0	1.8	2.2	6.3	0.8	1.0	15.8	7.7
排序			1	6	3	8	7	5	10	9	2	4

表 3 中与第 1、第 9 和第 3 列对应的三个特征值其贡献率之和已达 76.3%, 其他明显减弱, 故只取这三个主成份进行分析。

最高的一个特征值 (4.76) 其贡献率为 50.5%, 可以认为这是起主导作用的主成份。在其特征向量中, 分量系数绝对值较高的有两类。一类取负值, 有硝酸盐、POM、叶绿素 a 和磷酸盐, 它们是反映营养盐和生产力的, 这些要素之间都有高度的正相关; 另一类取正值, 主要是温度(盐度也可包括在内), 它(们)与营养盐和叶绿素 a 等又有着很强的负相关。所以二者是一个事物的两个方面, 反映的是海区的肥力。

第二主成份(特征值为 1.49)其贡献率为 15.8%。在各分量中只有太阳高度和脱镁叶绿素 a 载荷较高。第三个主成份(特征值为 0.94)其贡献率为 10.0%, 各分量中太阳高

度和亚硝酸盐载荷较高。第二、三主成份内都包括了太阳高度。脱镁叶绿酸 *a* 含量变化较复杂, 涉及到初级生产力的大小、草食性浮游动物的摄食强度和水体垂直混合强度。亚硝酸盐也有类似情况, 它来源于铵盐的氧化, 是处于氮循环中的不稳定态^[5], 很容易进一步氧化为硝酸盐, 所以含量相对较低。这两个要素制约因素较多。太阳高度、脱镁叶绿酸 *a* 和亚硝酸盐与肥力因素有联系但相关性很差。为了便于表达, 我们认为可以把第二、三主成份合在一起考虑为与光照和物理过程有关的第二主成份。

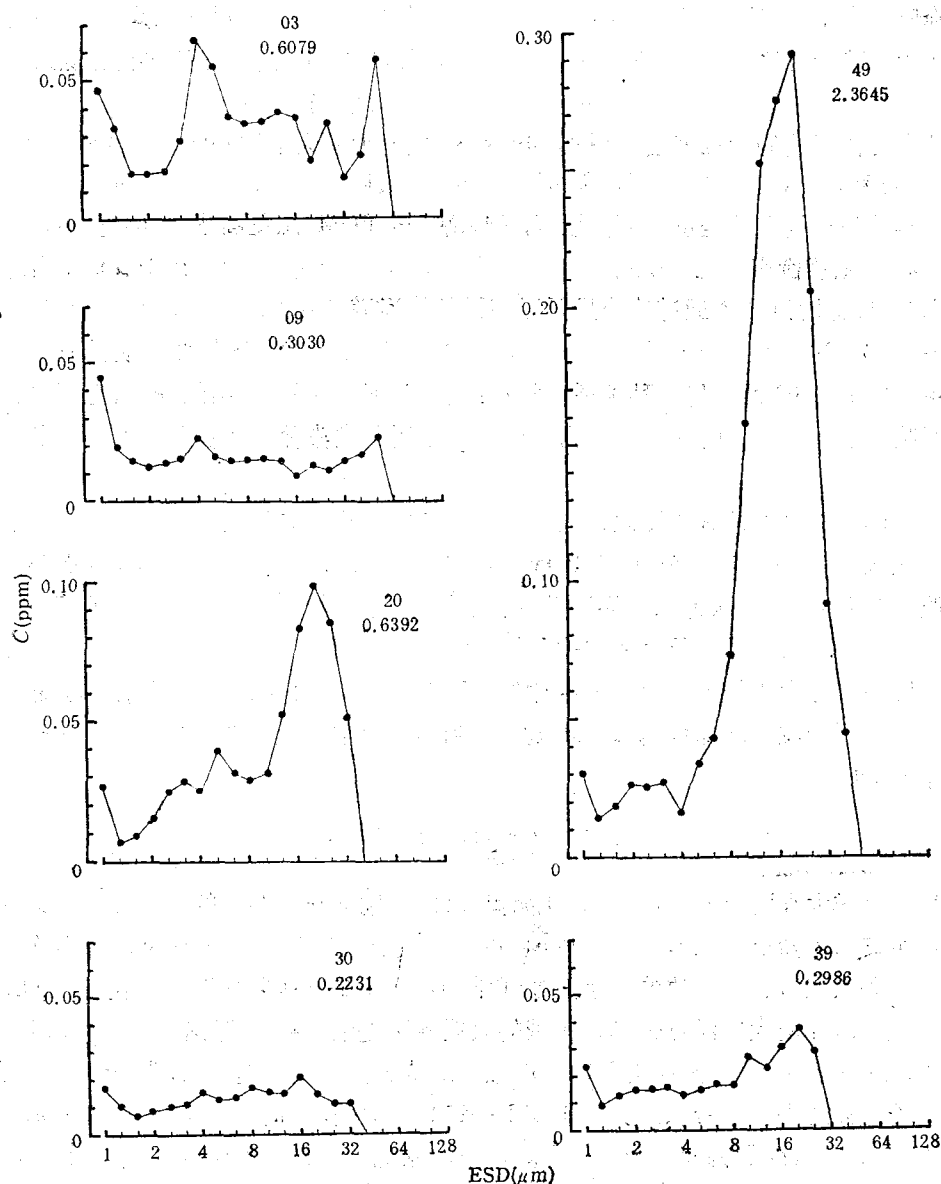


图 4 几个有代表性测站的颗粒谱

Fig. 4 Particle spectra of some representative stations

图中数字上面为测站号, 下面为 POM 总量 (ppm, v/v)。

4. POM 的组成

所测粒径的范围为 $0.89-114\mu\text{m}$ 。这个范围包括了海洋初级生产者的主体、大量的非生命有机碎屑和一部分微型浮游动物。这里的粒径是指相应球形直径,即与被测颗粒体积相等的球体直径 (ESD)^[12],颗粒计数器虽不能告诉我们颗粒的种类,但能在相当宽的范围精确地提供各通道颗粒量的分布,即颗粒谱。

考察资料表明,不仅 POM 总量在空间分布上有很大变化,颗粒谱同样表现明显的地区差异。有这样一个规律: POM 总量愈低颗粒谱愈平坦, POM 总量愈高峰值愈明显。峰值代表了优势种。这说明生物量的增高主要是通过优势种种群的增殖实现的,而不是在所有粒径上普遍增长。随着纬度的增高,组成中的优势现象趋向明显。低纬度区不仅生物量低且种类组成亦复杂,往往没有优势种,颗粒谱趋向平坦。

几个有代表性的颗粒谱绘于图 4。09 和 30 站位于北太平洋和南太平洋的中央水团, POM 总量非常低(分别为 0.3030 和 0.2231 ppm),颗粒谱平坦,这在贫瘠的涡漩区是典型性的。作为另一种极端是位于亚南极区的 49 站,其 POM 总量高达 2.3645 ppm,优势组成明显。显微镜检查发现,优势种为角毛藻 (*Chaetoceros spp.*),在 $16\mu\text{m}$ 左右形成突出的高峰,峰值附近几个通道的分量可以高于低值通道十几倍。这种谱形在亚南极区也是典型性的。20 站位于赤道上升流区,其 POM 总量有所增长,增长部分限于 $16-32\mu\text{m}$,也是单峰式的。03 站是另一种类型,组成分量参差不齐,即无突出的峰值,也不平坦,这似乎反映着秋季边缘区的特点:生物量中等,无明显优势种但在各尺度上存在多个主要种类。

每个测点的水样都做了显微镜检查。除亚南极区硅藻占明显优势外,其它测点有机碎屑占明显优势,这从叶绿素 a 与 POM 的比值可以反映出来。在低纬度区占第二位的是双鞭藻和硅藻;再其次为微型浮游动物,主要是原生动物和某些动物的卵子等。

计算了在测量范围内所有颗粒的平均体积 (POM-MV),以获得各测点颗粒大小的概念。发现颗粒大小的变化也是有规律的,即随 POM 总量的增高颗粒也明显变大。从表 2 可以看到颗粒平均体积与 POM 总量、叶绿素 a 含量有显著的正相关 (r 分别为 0.621, 0.620)。

三、结论与讨论

1. 太平洋大洋区(陆架以外或 200 海里以外)生物海洋学要素的大尺度分布规律十分清楚。主要营养盐类、叶绿素 a 和 POM 的浓度变化几乎是完全同步的。其分布规律与大洋环流和水团分布是一致的。水文物理学的界面也是这些要素发生急剧变化的地方。

北太平洋和南太平洋热带和亚热带的大涡漩区是最贫瘠的海区,硝酸盐多在 $0.05\mu\text{mol/L}$ 以下,叶绿素 a 含量在 $0.1\mu\text{g/L}$ 以下。赤道上升流区是“沙漠”中的一块“绿洲”。它是一条与赤道平行的带状区。在 $170^\circ\text{E}-174^\circ\text{W}$ 之间,其宽度约为 240—270 海里。其中心不在赤道上,而是偏南约两个纬度。深层冷水的涌升使表层水的硝酸盐含量增至 $1.0\mu\text{mol/L}$,叶绿素 a 可增至 $0.3\mu\text{g/L}$ 。进入亚南极区,各要素都有极大的变化,硝酸盐含量提高了两个数量级,叶绿素 a 提高 10—20 倍, POM 提高 10 倍。从纬向上看,各要素的变化是阶梯式的。在界面上大起大落,而在水团(区或带)内部相对均匀一致。

2. 亚南极区的营养盐含量相当高。以硝酸盐为例, 春末夏初浮游植物生物量处于高峰期时(A断面), 平均仍高达 $11.26 \mu\text{mol/L}$ 。这与我国冬季长江口附近水平相当^[2], 而远高于渤海的冬季平均水平⁹。但从叶绿素 a 含量和 POM 总量看并不很高, 或者说不相称。这一现象可能与南极区(南大洋)的情况相似。强烈的垂直混合使土均匀层的深度超过了真光层的深度从而阻碍了浮游植物种群的发展^[6,9]。营养盐在这里已不是限制因子。

3. 硝酸盐在太平洋的中低纬度对初级生产力是最重要的营养盐类。在营养盐贫乏的海域, 硝酸盐首先被耗尽。这次考察有 8 个测点硝酸盐含量为零(低到所用方法已测不出来), 而磷酸盐仍有 $0.1-0.2 \mu\text{mol/L}$ 。

氮:磷(N:P), 这一比值被认为是比较稳定的, 大体为 $16:1^{[7,13]}$ 。考察表明, 这一比值随生物活动有较大的时空变化, 最高为 16.7, 最低为零。它与硝酸盐含量有极显著的正相关($r = 0.968$)。在营养盐丰富、硝酸盐不是限制因子的亚南极区, 氮磷比在 10 左右; 在极端贫瘠的大涡旋区, 多数测点比值小于 1, 即硝酸盐含量反而低于磷酸盐, 如果硝酸盐全部耗尽则比值为零。

氮磷比的变化实际上反映了海水中的 N:P 与浮游植物摄取的 N:P 是不同的。如果相同, 则不管营养盐水平是高还是低, 也不管处于初级生产周期中的什么相位, 这个比值都应该保持不变。只有在摄取的 N:P 大于海水中的 N:P 时, 才会出现本文的观测结果。从某些测点硝酸盐已被耗尽而磷酸盐仍保持一定水平看, 也说明了这一问题。

4. 从整个测区看, 各要素测值的频数分布都不是正态分布, 峰值偏在低值部分。如果将资料局限在性质相似的水团内分析, 制约因素单纯、明显的要素, 如硝酸盐、叶绿素 a, 仍然是偏峰分布; 制约因素较多、较复杂的要素, 如 POM, 则开始趋向于正态分布。

这些特点是重要的, 因为任何考察和监测相对于被测海区都是一个很小的局部, 所以了解测值的分布函数是有意义的。我们的资料不足以建立各要素的分布函数, 但至少说明两个问题: 1) 做任何估计时考虑到海洋学分区是必要的, 即分区估计; 2) 不同要素有着不同的分布, 这取决于制约因素的多少和作用方式。

5. 叶绿素 a 含量与 POM 总量之间高度的正相关($r = 0.894$) 反映大洋区的 POM 来自初级生产。颗粒可能是生活的浮游植物细胞, 也可能是微型浮游动物, 还可能非生命的有机碎屑, 但它们都直接或间接地来自初级生产。

叶绿素 a 与 POM 的比值, 即单位体积颗粒物质中叶绿素 a 的重量($\mu\text{g}/\mu\text{l}$), 平均为 0.32, 变动范围为 0.08—0.96, 远低于单纯硅藻培养物^[19]。这一低比值说明太平洋表层水的 POM 中, 生活的浮游植物细胞比重不大。样品的显微镜检查说明, 除亚南极区外, 有机碎屑占主导地位。

6. 对 10 项要素的主成份分析说明, 第一位的、起决定作用的成份是海区的肥力, 这是指营养盐水平和初级生产力, 硝酸盐的作用尤为突出。温度与营养盐、初级生产力有着高度的负相关, 但在赤道上升流区是一个例外。亚南极区由于光照的季节变化和强烈的垂直混合, 营养盐的主导作用不明显了。

除了海域的肥力之外, 光照、某些生物过程和物理过程(如营养盐转换过程、垂直混合

1) 林庆礼等, 1987。渤海增殖水化学环境。渤海增殖环境调查报告。

过程)对生物海洋学要素的分布也有一定影响。

7. 颗粒谱是海洋生态学研究中的一个较新的概念^[12,16,17]。它可以提供有关系统内部关系和动态的信息。本文第一次在较大的范围上研究了太平洋表层水的颗粒谱。尽管该颗粒谱只是一小段 (0.89—114 μm), 但同样包含着许多重要信息。

本次考察各测点的颗粒谱千变万化, 但基本上是变动在平坦和高峰叠起之间。低纬度测点普遍表现为低而平坦。低是由生产力水平决定的, 平坦则是因为种类多、食物关系复杂、物质转换渠道多所致。生产水平低加上转换渠道多就不会有利用不充分和堵塞现象, 反映在颗粒谱上必然是低而平坦。高纬度区, 如亚南极区, 情况则相反, 这里种类少, 优势种明显, 转换渠道单一, 一旦某个环节跟不上就会出现堆积或形成缺口, 表现在颗粒谱上是大大起大落。A 断面的 42—49 站在 16—32 μm 普遍出现峰值, 说明当时正处在浮游植物(主要是角毛藻)的“开花”期。“开花”是一种严重堆积现象。

另一个规律是, 随着 POM 总量的提高颗粒有明显变大趋势, 颗粒平均体积与 POM 总量的相关系数为 0.621, 是比较显著的 ($r_{0.01} = 0.302$)。近年来有研究说明, 当一个海区生产力提高时, 浮游植物中大型种类和形成长链的种类转为优势, 反之则一些小型种类占优势。其结果是利用它们的草食浮游动物, 如桡足类, 也是大型种类占优势^[8]。也就是说, 当初级生产能力提高时, 系统有使产品尽快从低级向高级转换的调节能力。我们的观测结果支持了这种观点。

参 考 文 献

- [1] 王荣, 1986. 荧光法测定浮游植物色素计算公式的修正. 海洋科学 10(3): 1—5.
- [2] 王正方、姚龙奎、阮小正, 1983. 1. 长江口营养盐 (N, P, Si) 分布与变化特征. 海洋与湖沼 14(4): 324—331.
- [3] 王学仁, 1982. 地质数据的多变量统计分析. 科学出版社, 1—518 页.
- [4] 卞国瑞等, 1979. 概率论第二册数理统计(第二分册). 人民教育出版社, 1—402 页.
- [5] 顾宏堪, 1976. 海洋中氮循环的热力学平衡问题. 海洋科学集刊 11: 1—6.
- [6] El-Sayed, S. Z., 1987. Seasonal and interannual variabilities in Antarctic phytoplankton with reference to krill distribution. Paper of the Scientific Seminar on Antarctic Variability and its Influence on Marine Living Resources, Paris, 2—6 June 1987.
- [7] Harvey, H. W., 1957. The Chemistry and Fertility of Sea Waters. Cambridge Univ. Press, 224pp.
- [8] Hempel, G., 1985. Antarctic marine food webs. In: Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs, Ed. by W. R. Siegfried et al. Springer-Verlag pp. 266—270.
- [9] Heywood, R. B. and T. M. Whitaker, 1984. The marine flora. In: Antarctic Ecology, Ed. by R. M. Laws. Academic Press, vol. 2, pp. 373—420.
- [10] Knox, G. A., 1970. Biological oceanography of the South Pacific. In: Scientific Exploration of the South Pacific, Ed. by W. S. Wooster. Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, pp. 155—182.
- [11] Parsons, T. R., Y. Maita and C. M. Lalli, 1984. A Manual of Chemical and Biological Method for Seawater Analysis. Pergamon Press, 173 pp.
- [12] Platt, T., M. Lewis and R. Geider, 1984. Thermodynamic of the pelagic ecosystem: elementary closure conditions for biological production in the open sea. In: Flows of Energy and Materials in Marine Ecosystems, Theory and Practice, Ed. by M. J. R. Fasham. NATO Conference Series, Series IV: Marine Science, pp. 49—84.
- [13] Riley, J. P. and G. Skirrow, 1975. Chemical Oceanography. vol. 2. Academic Press, 647 pp.
- [14] Rotschi, H., 1970. Variations of equatorial currents. In: Scientific Exploration of the South Pacific, Ed. by W. S. Wooster. Scripps Institution of Oceanography. La Jolla, California, pp. 75—83.
- [15] Sheldon, R. W., 1967. A practical manual on the use of the Coulter Counter in marine research. Fish. Res. Board Can. Studies, 1155.

- [16] Sheldon, R. W., A. Prakash and W. H. Sutcliffe Jr., 1972. The size distribution of particles in the ocean. *Limnol. Oceanogr.* 17(3): 327—340.
- [17] Sheldon, R. W. W. H. Sutcliffe Jr. and M. A. Paranjape, 1977. Structure of pelagic food chain and relationship between plankton and fish production. *J. Fish. Res. Board Can.* 34(12): 2344—2353.
- [18] Sverdrup, H. U., M. W. Johnson and R. H. Fleming, 1942. *The Oceans, their physics, chemistry and general biology*. Prentice-Hall, New York, 1087 pp.
- [19] Wang, R. and R. J. Conover, 1986. Dynamics of gut pigment in the copepod *Temora longicornis* and the determination of in situ grazing rate. *Limnol. Oceanogr.* 31(4): 867—877.

THE DISTRIBUTION PATTERN OF SOME BIOLOGICAL ELEMENTS AND THE PARTICLE SPECTRA IN THE SURFACE WATER OF THE PACIFIC OCEAN*

Wang Rong, Lin Yarong

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao)

Liu Xiaoxian

(Shandong University of Industry, Jinan)

ABSTRACT

During the First Chinese Antarctic Expedition 76 stationary observations were made in the Pacific Ocean along the ship courses from Shanghai to Cape Horn (23 Nov. —18 Dec., 1984) and from Cape Horn to Shanghai (11 March—4 April, 1985). The temperature, salinity, nutrients ($\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_3\text{-Si}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$), plant-pigments (chlorophyll *a* and phaeophorbide *a*) and particulate organic matter ($\text{ESD}=0.89\text{--}114\mu\text{m}$) of the surface water were measured. The simple correlation coefficients for all pairs of the 10 elements were calculated and the main factors which governed the distribution pattern were analysed with the aid of principal component analysis.

The distribution of nutrients, chlorophyll *a* and POM showed the similar pattern. The gyral area of the northern and southern subtropics was oligotrophic. The Equatorial Upwelling, which covered a width of about 5 degrees in latitude, was relatively nutritive. Dramatic increase in nutrient concentration and biomass was found across the Subtropical Convergence from north to south into the Subantarctic Water.

There are strong positive correlations between chlorophyll *a* and POM ($r=0.894$), chlorophyll *a* and $\text{NO}_3\text{-N}$ ($r=0.807$), and $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ ($r=0.815$). The temperature and salinity were found to be negatively correlated with the nutrients, chlorophyll *a* and POM concentration. The principal component analysis revealed that fertility, specially $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration, was the most important factor governing the distribution pattern.

The particle spectra varied from place to place. In tropical and subtropical areas the total POM concentrations were low and the curves were rather flat, that meant there was no dominant species and each size grade tended to have the similar concentration. In the Subantarctic Water the POM concentrations were high and relative large particles (mainly *Chaetoceros* spp.) formed the pronounced peaks.

* Contribution No. 1551 from Institute of Oceanology, Academia Sinica.