

白令海和楚科奇海表层沉积中的 有孔虫及其沉积环境

孟 翊¹, 陈荣华², 郑玉龙²

(1. 华东师范大学 河口海岸研究所, 上海 200062; 2. 国家海洋局 海底科学重点实验室, 浙江 杭州 310012)

摘要: 通过对白令海和北冰洋楚科奇海 39 个表层沉积样品中有孔虫的定量分析, 发现表层沉积中浮游有孔虫稀少可能与该区表层生产力低、碳酸盐溶解作用较强有关, 而底栖有孔虫的分布则主要受表层初级生产力以及与水深相关的碳酸盐溶解作用和水团性质所控制, 其中北冰洋楚科奇海陆架区有孔虫以 *Elphidium* spp. 组合和 *Nonionella robusta* 组合为主, 丰度和分异度低, 受北冰洋沿岸水团控制; 白令海陆坡区有孔虫以 *Uvigerina peregrina* - *Globobulimina affinis* 组合为主, 含 *N. robusta* 较多, 丰度和分异度相对高, 受太平洋中层和深层水团控制, 但该区碳酸盐溶跃层和补偿深度 (CCD) 相对浅, 约分别位于 2 000 和 3 800 m 处. 此外, 白令海陆坡上部表层沉积中含有北冰洋陆坡区典型深水底栖有孔虫种 *Stetsonia arctica*, 说明白令海峡两侧的海区曾有深部水交流.

关键词: 白令海和楚科奇海; 有孔虫; 表层沉积; 碳酸盐溶解; 水团

中图分类号: P736.4 文献标识码: A 文章编号: 0253- 4193(2001)06- 0085- 09

1 引言

一方面, 北极地区是许多全球性气候环境变化的根源之所在, 如北极高纬区第四纪冰盖或水体发生变化可以导致冰期/ 间冰期大幅度的全球海平面波动, 也直接影响冰期旋回中北大西洋/ 北太平洋深层水的产生与变化^[1]; 另一方面, 北极地区也是许多全球性环境变化的记录之所在, 如格陵兰冰心中有 Heinrich 事件、Dansgaard/ Oeschger 事件等短期气候变化的详尽记录^[2]. 由此可见, 北极地区在揭示全球变化机制中处于十分关键的位置.

为正确解释北极地区的海洋古环境记录, 前人对该区的现代沉积环境进行了大量调查, 然

收稿日期: 2001- 01- 12; 修订日期: 2001- 04- 09.

基金项目: 中国首次北极科学考察科考项目和国家海洋局海底科学重点实验室资助项目.

作者简介: 孟 翊 (1967-), 女, 山东省淄博市人, 助理研究员, 从事海洋沉积与沉积地球化学研究.

而北极地区的恶劣环境和给后勤工作带来的困难妨碍了对这个地区的系统研究,对有关该区的认识仍然十分贫乏而又零星,譬如前人对北极地区表层沉积中有孔虫及其沉积环境的研究,主要集中在北冰洋靠欧美一侧的陆架和深水区^[3-9],很少涉及白令海峡两侧的楚科奇海和白令海.为此,我们通过1999年7~9月间我国首次北极海洋地质科学考察,在北冰洋楚科奇海附近和白令海海区采取表层沉积样品,对沉积物中有孔虫等微体化石进行定量分析,旨在揭示北极地区现代海洋沉积过程,为解释该地区的海洋古环境和古气候变化提供新的依据.

2 材料和分析方法

本次研究的表层沉积样品来自1999年我国首次北极海洋地质科学考察,其中白令海的12个样品分布于 $57^{\circ}38'01'' \sim 61^{\circ}31'40''\text{N}$, $175^{\circ}33'29'' \sim 179^{\circ}25'44''\text{W}$ 之间的陆坡区,水深介于140~3850 m之间;北冰洋楚科奇海的27个样品分布于 $73^{\circ}27'12'' \sim 66^{\circ}30'09''\text{N}$, $158^{\circ}21'04'' \sim 175^{\circ}01'42''\text{W}$ 之间,除样品P5(水深为2600 m)位于陆坡区以外,其余均位于水深30~92 m之间的陆架区(图1).表层沉积样品主要采用新研制的小箱式取样器获得,个别站位利用了多管取样器^[10],一般取顶部的1~2 cm沉积物作为表层沉积样品,沉积物主要为含有孔虫、硅藻等微体生物的粉砂质泥、泥质粉砂和粉砂质砂.由于北极地区的沉积速率极低^[8],有时100 cm的柱状样就包括整个更新世,所以本次研究的样品可能代表了最近几千至几万年的沉积.

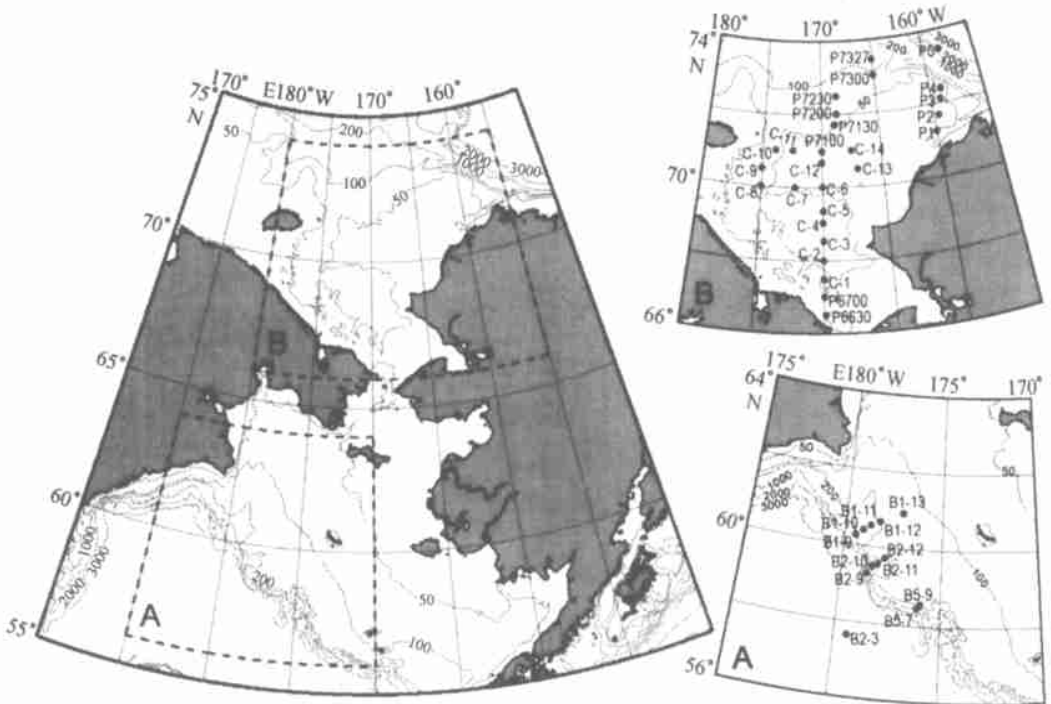


图1 白令海和北冰洋楚科奇海的表层沉积样品位置

所有样品均按标准微体古生物学分析方法处理,一般称干重30 g(最少为8.9 g,最多为49.9 g),加入适量的 H_2O_2 水浸泡,采用 $63\ \mu\text{m}$ 孔径的铜筛冲洗、烘干,然后取大于 $0.154\ \text{mm}$

的组分挑尽有孔虫和介形虫, 并系统鉴定和定量统计. 底栖有孔虫分类鉴定依据 Barker^[11]的工作, 并参考前人对北极地区表层沉积中有孔虫的研究^[6~8]. 在此基础上, 计算有孔虫的丰度、属种简单分异度、各属种绝对丰度(表 1)和相对丰度(表 2), 并对至少在两个样品中占 2% 以上的 17 个属种进行 Q 型因子分析(见表 3 和 4), 进而探讨有孔虫分布与水深、表层初级生产力、碳酸盐溶解作用以及温度、盐度等水性质的关系.

表 1 白令海和楚科奇海表层沉积中有孔虫和介形虫丰度以及主要属种的绝对丰度(枚/g)

属 种	白令海			楚科奇海			白令海加上楚科奇海		
	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
<i>Ammotium asis</i> (Parker)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.053	0.003	0.000	0.053	0.002
<i>Cribrostomoides</i> sp.	0.000	0.011	0.003	0.000	0.017	0.001	0.000	0.017	0.001
<i>Miliammina</i> sp.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.001	0.000	0.017	0.001
<i>Recurvoides turbinatus</i> (Brady)	0.000	0.022	0.003	0.000	0.036	0.002	0.000	0.036	0.002
<i>Reophax</i> spp.	0.000	0.022	0.003	0.000	0.173	0.007	0.000	0.173	0.006
<i>Rhabdammina abyssorum</i> M. Sars	0.000	0.034	0.003	0.000	0.031	0.002	0.000	0.034	0.002
<i>Sigmoilopsis schlumbergeri</i> (Silvestri)	0.000	0.008	0.001	0.000	0.010	0.000	0.000	0.010	0.001
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	0.000	0.007	0.001	0.000	0.005	0.000	0.000	0.007	0.000
<i>Buccella frigida</i> (Cushman)	0.000	0.013	0.002	0.000	0.003	0.000	0.000	0.013	0.001
<i>Dentalina</i> spp.	0.000	0.009	0.001	0.000	0.013	0.001	0.000	0.013	0.001
<i>Elphidium subarcticum</i> Cushman	0.000	0.013	0.002	0.000	0.037	0.004	0.000	0.037	0.003
<i>Elphidium excavatum</i> (Terquem)	0.000	0.090	0.010	0.000	0.024	0.002	0.000	0.090	0.004
<i>Globulimina affinis</i> (d'Orbigny)	0.000	0.719	0.087	0.000	0.000	0.000	0.000	0.719	0.027
<i>Lagena</i> spp.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.005	0.000
<i>Nonionella robusta</i> Plummer	0.000	0.528	0.076	0.000	0.040	0.005	0.000	0.528	0.027
<i>Pyrulina</i> spp.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.001	0.000	0.010	0.000
<i>Stetsonia arctica</i> (Green)	0.000	0.050	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050	0.002
<i>Uvigerina peregrina</i> Cushman	0.000	0.213	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.213	0.012
有孔虫丰度	0.116	15.618	2.458	0.000	2.467	0.286	0.000	15.618	0.954
介形虫丰度	0.000	0.000	0.000	0.000	0.293	0.024	0.000	0.293	0.017

表 2 白令海和楚科奇海表层沉积中有孔虫主要属种的相对丰度(%)

属种	白令海			楚科奇海			白令海加上楚科奇海		
	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
<i>Ammotium asis</i> (Parker)	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	4.5	0.0	25.0	3.0
<i>Cribrostomoides</i> sp.	0.0	7.4	1.4	0.0	22.7	1.2	0.0	22.7	1.3
<i>Miliammina</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	1.2	0.0	16.7	0.8
<i>Recurvoides turbinatus</i> (Brady)	0.0	10.2	1.0	0.0	38.9	4.2	0.0	38.9	3.1
<i>Reophax</i> spp.	0.0	33.3	3.2	0.0	70.3	3.8	0.0	70.3	3.6
<i>Rhabdammina abyssorum</i> M. Sars	0.0	2.2	0.2	0.0	66.7	6.3	0.0	66.7	4.2
<i>Sigmoilopsis schlumbergeri</i> (Silvestri)	0.0	3.6	0.6	0.0	60.0	2.7	0.0	60.0	2.0
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	0.0	4.1	0.4	0.0	5.6	0.2	0.0	5.6	0.3

续表 2

属种	白令海			楚科奇海			白令海加上楚科奇海		
	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
<i>Buccella frigida</i> (Cushman)	0.0	3.7	0.9	0.0	50.0	2.7	0.0	50.0	2.1
<i>Dentalina</i> spp.	0.0	3.6	0.7	0.0	50.0	6.7	0.0	50.0	4.7
<i>Elphidium subarcticum</i> Cushman	0.0	10.7	1.2	0.0	100.0	20.3	0.0	100.0	13.9
<i>Elphidium excavatum</i> (Terquem)	0.0	7.4	2.5	0.0	75.0	9.8	0.0	75.0	7.4
<i>Globbulimina affinis</i> (d'Orbigny)	0.0	69.6	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	69.6	8.9
<i>Lagena</i> spp.	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	3.1	0.0	50.0	2.1
<i>Nonionella robusta</i> Plummer	0.0	71.9	22.6	0.0	100.0	26.5	0.0	100.0	25.2
<i>Pyrulina</i> spp.	0.0	0.0	0.0	0.0	66.7	3.8	0.0	66.7	2.5
<i>Stetsonia arctica</i> (Green)	0.0	21.4	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4	1.2
<i>Uvigerina peregrina</i> Cushman	0.0	100.0	33.4	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	11.1
胶结质壳	0.0	33.3	7.1	0.0	98.6	21.5	0.0	98.6	17.0
瓷质壳	0.0	1.8	0.1	0.0	9.1	0.6	0.0	9.1	0.4
玻璃质壳	66.7	100.0	92.8	0.0	100.0	66.9	0.0	100.0	74.8

表 3 白令海和楚科奇海表层沉积中有孔虫群 Q 型因子分析的各属种得分

属种	因子 1	因子 2	因子 3
<i>Ammotium casis</i> (Parker)	0.052	0.075	-0.015
<i>Cribratomoides</i> sp.	0.042	-0.005	0.024
<i>Miliammina</i> sp.	0.013	0.000	-0.003
<i>Recurvoides turbinatus</i> (Brady)	0.025	0.105	-0.002
<i>Reophax</i> spp.	-0.002	0.027	0.081
<i>Rhabdammina abyssorum</i> M. Sars	0.018	0.081	-0.007
<i>Sigmolopsis schlumbergeri</i> (Silvestri)	0.016	0.003	0.006
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	0.006	0.001	0.003
<i>Buccella frigida</i> (Cushman)	-0.014	0.093	0.032
<i>Dentalina</i> spp.	0.161	-0.012	-0.048
<i>Elphidium</i> spp.	0.004	<u>0.980</u>	0.044
<i>Globbulimina affinis</i> (d'Orbigny)	0.164	-0.035	<u>0.457</u>
<i>Lagena</i> spp.	0.035	0.029	-0.020
<i>Nonionella robusta</i> Plummer	<u>0.959</u>	-0.009	0.061
<i>Pyrulina</i> spp.	0.000	0.055	-0.003
<i>Stetsonia arctica</i> (Green)	0.007	0.004	0.111
<i>Uvigerina peregrina</i> Cushman	-0.144	-0.035	0.873

表4 白令海和楚科奇海表层沉积中有孔虫群 Q型因子分析的各样品载荷

样品	因子 1	因子 2	因子 3	样品	因子 1	因子 2	因子 3
B1- 9	- 0. 039	- 0. 048	<u>0. 984</u>	C- 7	<u>0. 464</u>	<u>0. 527</u>	0. 076
B1- 10	- 0. 144	- 0. 035	<u>0. 873</u>	C- 9	<u>0. 525</u>	<u>0. 538</u>	0. 036
B1- 11	0. 482	0. 155	<u>0. 672</u>	C- 11	0. 015	<u>0. 750</u>	0. 026
B1- 12	<u>0. 886</u>	0. 028	0. 298	C- 12	0. 002	<u>0. 488</u>	0. 017
B1- 13	<u>0. 957</u>	- 0. 019	0. 229	C- 13	<u>0. 959</u>	- 0. 009	0. 061
B2- 3	- 0. 130	- 0. 019	<u>0. 817</u>	P1	<u>0. 959</u>	- 0. 009	0. 061
B2- 9	0. 384	0. 021	<u>0. 512</u>	P2	0. 030	0. 042	0. 000
B2- 10	<u>0. 702</u>	0. 141	<u>0. 449</u>	P3	<u>0. 893</u>	0. 006	0. 062
B2- 11	0. 465	0. 124	<u>0. 859</u>	P4	0. 139	0. 012	- 0. 048
B2- 12	0. 204	- 0. 048	<u>0. 967</u>	P5	0. 035	0. 131	- 0. 003
B5- 7	<u>0. 679</u>	0. 068	<u>0. 493</u>	P6630	0. 004	<u>0. 980</u>	0. 044
B5- 9	0. 010	0. 082	<u>0. 880</u>	P6700	0. 004	<u>0. 980</u>	0. 044
C- 1	- 0. 007	<u>0. 759</u>	0. 054	P7100	0. 246	0. 074	0. 007
C- 2	0. 004	<u>0. 980</u>	0. 044	P7130	0. 017	0. 048	0. 072
C- 3	0. 004	<u>0. 980</u>	0. 044	P7200	<u>0. 680</u>	<u>0. 687</u>	0. 075
C- 4	0. 011	<u>0. 922</u>	0. 045	P7230	<u>0. 792</u>	- 0. 015	0. 009
C- 5	0. 016	<u>0. 983</u>	0. 041	P7300	<u>0. 906</u>	0. 107	0. 034
C- 6	<u>0. 959</u>	- 0. 009	0. 061	P7327	<u>0. 935</u>	0. 167	0. 046

3 有孔虫的丰度与表层生产力、碳酸盐溶解作用

除北冰洋楚科奇海的 C- 8, C- 10 和 C- 14 等 3 个样品以外, 在所有表层沉积样品中均发现数量不等的有孔虫, 计底栖有孔虫 742 枚和浮游有孔虫 1 枚, 且在楚科奇海的 8 个样品中发现 23 枚介形虫, 其中白令海陆坡区的有孔虫丰度为每克干样含完整壳体 0. 12~ 15. 62 枚不等, 平均为 2. 46 枚/g, 比楚科奇海陆架区的有孔虫丰度(平均为 0. 29 枚/g) 高 1 个数量级(见表 1)。这种差异显然不是由与水深相关的碳酸盐溶解作用所控制, 而是与表层初级生产力的高低有关^[12]。北冰洋楚科奇海区由于季节性冰盖以及冰漂物的影响, 表层初级生产力很低, 从而底栖有孔虫的生物量即丰度也相应减小。实际上, 楚科奇海表层沉积物中反映表层初级生产力的硅藻等硅质生物的含量也比白令海少, 进一步说明两个海区有孔虫丰度的差异主要受表层初级生产力的影响。与太平洋中、低纬度区^[13] 比较, 研究区的有孔虫丰度明显偏低, 也说明了该区由于表层海水温度较冷而表层初级生产力相对低, 同时这种较低的表层初级生产力至少也部分说明了研究区浮游有孔虫的稀少^[8, 12]。

有孔虫的丰度, 尤其浮游有孔虫的丰度还受碳酸盐溶解作用的影响。研究区浮游有孔虫几乎缺失, 仅在楚科奇海 2 600 m 水深处的 P5 样品中发现 1 枚 *Globigerina bulloides* (d' Orbigny) 壳体, 与北极地区现代浮游有孔虫的总体特征不一致^[9]。由于本次研究的表层沉积样品涵盖多种地形和底质类型, 水深也从近岸陆架浅水区到远洋海盆深水区, 看来这种浮游有孔虫稀少的现象应该与该区碳酸盐溶解作用整体较强有关。

研究区底栖有孔虫以钙质壳占优势(见表 1), 说明海水中的碳酸钙仍然较多, 这也反映在

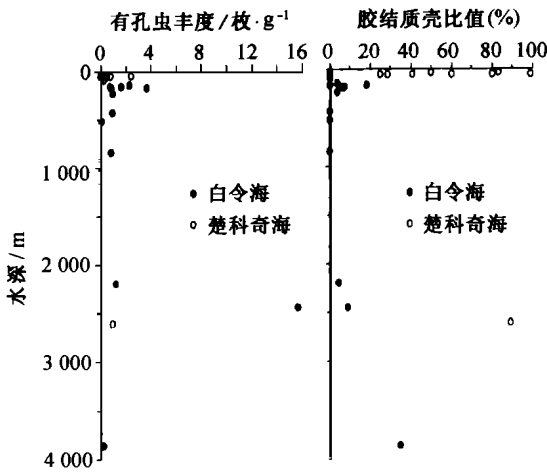


图2 白令海和楚科奇海表层沉积中底栖有孔虫丰度和胶结质壳比值的水深分布

很多样品中发现了少量贝壳上。北冰洋楚科奇海表层沉积中底栖有孔虫丰度和胶结质壳比值的变化与水深关系不大(图2),这可能与样品主要集中在陆架浅水区有关。白令海的情况正好相反,从图2可以看出,除样品B5-7比较异常以外,底栖有孔虫丰度有随水深增加而减少、胶结质壳比值随水深增加而增大的趋势。由于水深2000 m以下的3个样品中沉积物主要是硅藻软泥,有孔虫丰度低,胶结质壳含量高,说明位于碳酸盐溶跃层之下,特别是海盆区样品B2-3中的有孔虫丰度很低(0.19枚/g),大大低于白令海的平均水平(2.46枚/g),且胶结质壳含量高,推测该样品可能位于碳酸盐补偿深度附近。

4 有孔虫的属种分布与水团性质

在白令海和北冰洋楚科奇海表层沉积样品

中共鉴定出底栖有孔虫26属、28种,其中主要属种的绝对丰度和相对丰度见表1和2。底栖有孔虫三大类中,玻璃质壳占优势,平均为74.8%,胶结质壳含量次之,平均约为17.0%,而钙质瓷质壳含量极低(见表2)。楚科奇海陆架区的底栖有孔虫群不仅丰度低,而且分异度也低,其属种简单分异度介于0~6之间,平均仅为2;白令海的底栖有孔虫属种简单分异度介于1~13之间,平均为6,明显较楚科奇海的大,说明分异度有随水深和离岸距离增加而增大的趋势。

在计算各属种百分含量的基础上,我们选择了36个样品,对至少在两个样品中占2%以上的17个属种进行了Q型因子分析,结果见表3和4。Q型因子分析共得3个主因子,累积说明了总方差的68.5%,能比较好地反映底栖有孔虫群的变化。根据各属种的因子得分(见表3)和各样品的因子载荷(见表4),可确定主因子1为*Nonionella robusta* Plummer组合,主要分布在楚科奇海陆架区和白令海的陆坡上部;主因子2为*Elphidium* spp.组合,含有较多*Recurvoides turbinatus* (Brady),主要分布在楚科奇海陆架区;主因子3为*Uvigerina peregrina* Cushman-*Globobulimina affinis* (d'Orbigny)组合,主要分布在白令海陆坡区。这些底栖有孔虫因子组合与水深、近底层海水温度和盐度的关系见图3,其中各站位近底层海水温度和盐度为1999年夏天中国首次北极海洋地质科学考察实测所得。主因子3的*U. peregrina*-*G. affinis*组合有明显随水深、近底层海水温度和盐度的增加而增大的趋势,对应于白令海陆坡水深相对较大、近底层海水温度和盐度相对较高的深海区。主因子2的*Elphidium* spp.组合正好相反,分布在楚科奇海水深较浅(约50 m附近)的陆架区,由于这里季节性冰盖和冰漂物以及沿岸淡水的影响,近底层海水的温度和盐度也很低(见图3)。主因子1的*N. robusta*组合与水深、近底层海水的温度和盐度关系不甚明显。实际上,该组合在白令海和楚科奇海都有分布,但在白令海主要分布在陆坡上部,且有随水深增加而增大的趋势,而在楚科奇海主要分布在离岸较远的陆架区(见表4和图1)。

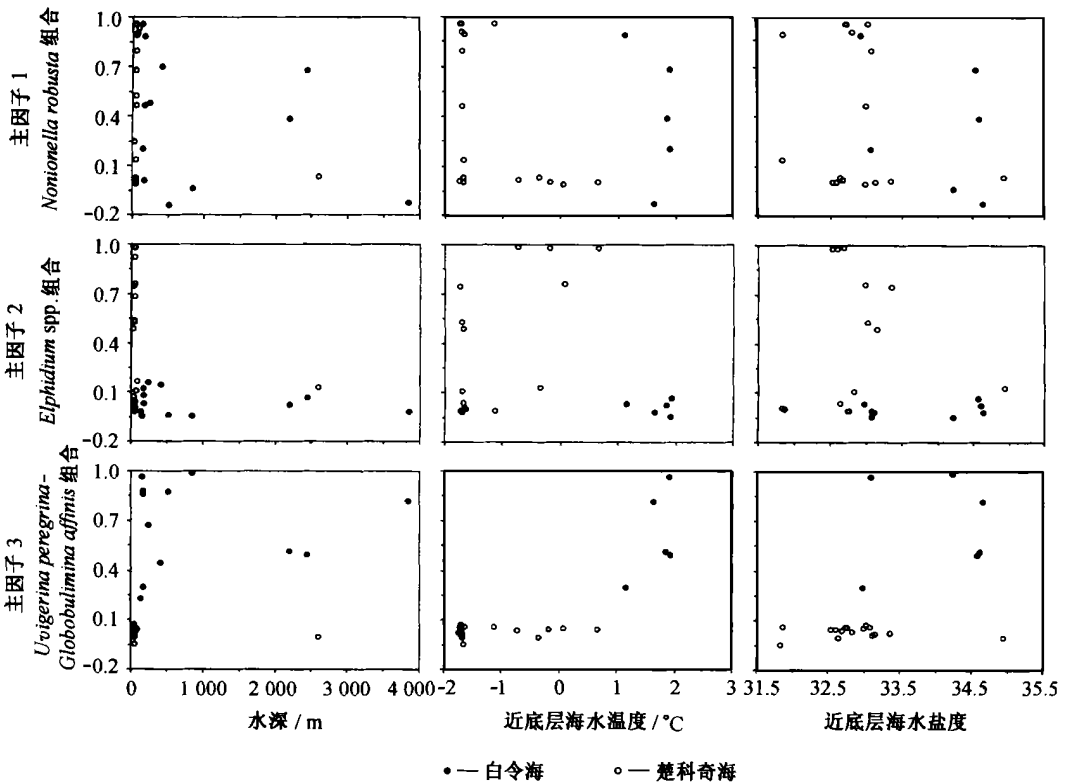


图3 底栖有孔虫群 Q 型因子分析的载荷与水深、近底层海水温度和盐度的关系

与前人的研究结果比较发现, 楚科奇海 *Elphidium* spp. 组合的优势种 *Elphidium subarcticum* Cushman 和 *Elphidium excavatum* (Terquem) 广布于北冰洋沿岸陆架区^[5~7], 主要受北冰洋沿岸水团的影响。白令海 *U. peregrina*-*G. affinis* 组合的优势种 *U. peregrina* 和 *G. affinis* 则是世界大洋常见深水底栖有孔虫, 也是北太平洋中层和深层水团中的常见属种^[13], 而且这两个种都是内生种, 通常与沉积物中富有机碳含量相联系, 在白令海陆坡区的大量出现, 说明该区表层初级生产力和有机碳通量相对较高, 这也与该区沉积物中硅藻和放射虫含量较高相一致。至于楚科奇海和白令海共同拥有的 *N. robusta* 组合可能代表了沿岸水团与深部水团之间的某种过渡类型。有意思的是, 白令海陆坡上部的 3 个样品(B1-11, B2-11 和 B5-9, 水深为 180~235 m) 中含有北冰洋陆坡区典型的深水(水深大于 200 m)底栖有孔虫种 *Stetsonia arctica* (Green)^[6,8], 而这个种在北太平洋其他海区没有发现^[13]。尽管冰期旋回中白令海峡的陆桥^[14]阻碍了两侧深部海水的交流, 但 *Stetsonia arctica* 在白令海的出现说明白令海峡两侧的海区曾有深部的底层水交流。

5 结论

通过对北极地区白令海和楚科奇海表层沉积中有孔虫的定量分析, 得到以下几点初步认识:
(1) 白令海和楚科奇海表层沉积中浮游有孔虫几乎缺失可能与该区表层生产力相对低、

碳酸盐溶解作用较强有关, 而白令海的底栖有孔虫丰度(平均为 2.46 枚/g) 比楚科奇海的(平均为 0.29 枚/g) 高 1 个数量级, 反映了楚科奇海由于海冰、表层海水温度较低而表层初级生产力相对低, 这也与两个海区的硅质生物含量高低相吻合。

(2) 底栖有孔虫丰度、胶结质壳比值以及硅质生物含量随水深变化揭示了白令海的碳酸盐溶跃层和补偿深度(CCD) 相对浅, 约分别位于 2 000 和 3 800 m。

(3) 楚科奇海陆架区以 *Elphidium* spp. 组合和 *Nonionella robusta* 组合为主, 有孔虫丰度和分异度低, 含有浅水介形虫, 受北冰洋温度和盐度相对较低的沿岸水团控制。白令海陆坡区以 *Uvigerina peregrina*-*Globobulimina affinis* 组合为主, 也含有较多 *N. robusta*, 有孔虫丰度和分异度相对较高, 含有大量硅藻和放射虫, 受温度和盐度相对较高的太平洋中层和深层水团控制。

(4) 白令海陆坡上部的表层沉积中含有北冰洋陆坡区典型的深水(水深大于 200 m) 底栖有孔虫种 *Stetsonia arctica* (Green), 说明白令海峡两侧的海区曾有深部的底层水交流。

本次研究承蒙 1999 年我国首次北极科学考察的全体船员和科学家提供样品, 特此致谢。

参考文献:

- [1] BROECKER W S, DENTON G H. What drives glacial cycles [J]? *Scientific American*, 1990, 1: 49~ 56.
- [2] BOND G C, LOTTI R. Iceberg discharges into the North Atlantic on millennial time during the last glaciation[J]. *Science*, 1995, 267: 1 005~ 1 010.
- [3] GREEN K E. Ecology of some Arctic foraminifera[J]. *Micropaleontology*, 1960, 6(1): 57~ 78.
- [4] VILKS G. Recent foraminifera in the Canadian Arctic[J]. *Micropaleontology*, 1969, 15(1): 35~ 60.
- [5] LAGOE M B. Recent benthic foraminifera from the central Arctic Ocean[J]. *Journal of Foraminiferal Research*, 1977, 7(2): 106~ 129.
- [6] LAGOE M B. Recent benthonic foraminiferal biofacies in the Arctic Ocean[J]. *Micropaleontology*, 1979, 25(2): 214~ 224.
- [7] SCHRÖDER C J, COLE F, MEDIOLI F S, et al. Recent Arctic shelf foraminifera: seasonally ice covered vs. perennial ice covered areas[J]. *Journal of Foraminiferal Research*, 1990, 20(1): 8~ 36.
- [8] SCOTT D B, VILKS G. Benthonic foraminifera in the surface sediments of the deep-sea Arctic Ocean[J]. *Journal of Foraminiferal Research*, 1991, 21(1): 20~ 38.
- [9] CARSTENS J, HEBBELN D, WEFER G. Distribution of planktonic foraminifera at the ice margin in the Arctic (Fram Strait) [J]. *Marine Micropaleontology*, 1997, 29(3~ 4): 257~ 269.
- [10] 程振波, 石学法, 高爱国, 等. 白令海表层沉积物中的放射虫与海洋环境[J]. *极地研究*, 2000, 12(1): 24~ 31.
- [11] BARKER R W. Taxonomic notes on the species figured by H B Brady in his report on foraminifera dredged by H M S *Challenger* during the years 1873~ 76 [J]. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication*, 1960, 9: 1~ 238.
- [12] WOLLENBURG J E, KUHN T W. The response of benthic foraminifera to carbon flux and primary production in the Arctic Ocean[J]. *Marine Micropaleontology*, 2000, 40(3): 189~ 231.
- [13] DOUGLAS R, WOODRUFF F. Deep-sea benthic foraminifera[A]. EMILIANI C. *The Sea, The Oceanic Lithosphere* [M]. New York: John Wiley & Sons, 1981. 1: 1 233~ 1 328.
- [14] ELIAS S A, SHORT S K, BIRKS H H. Late Wisconsin environments of the Bering Land Bridge[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1997, 136(1~ 4): 293~ 308.

Foraminifera in the surface sediments of the Bering and Chukchi Seas and their sedimentary environment

MENG Yi¹, CHEN Rong-hua², ZHENG Yi-long²

(1. Institute of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Key Laboratory of Submarine Geosciences, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Based on a quantitative analysis of foraminifera in 39 surface samples of the Bering and Chukchi Seas, one test of planktonic foraminifera and 742 tests of benthic foraminifera belonging to 26 genera and 28 species are identified. The lack of planktonic foraminifera in the surface sediments can be related to the low surface primary productivity and strong carbonate dissolution in the study area. It has been revealed that the surface primary productivity, and carbonate dissolution and properties of water masses related to the water depth mainly control the distribution of benthic foraminifera. The shelf of the Chukchi Sea is dominated by the *Elphidium* spp. assemblage and *Nonionella robusta* assemblage with low foraminiferal abundance and diversity, which is controlled by the coastal water mass of the Arctic Ocean. The slope of the Bering Sea is dominated by the *Uvigerina peregrina*-*Globobulimina affinis* assemblage with abundant *N. robusta*, and relatively high foraminiferal abundance and diversity, which is controlled by the intermediate and deep water masses of the Pacific Ocean. However, the Bering Sea has relatively shallow carbonate lysocline and compensation depth (CCD), about at 2 000 and 3 800 m, respectively. In addition, there exist *Stetsonia arctica* in the surface sediments of the upper slope in the Bering Sea, which is typical deep-sea benthic foraminifera of the slope in the Arctic Ocean. This indicates that the deep waters of the two seas beside the Bering Strait had ever exchanged.

Key words: Bering and Chukchi Seas; foraminifera; surface sediments; carbonate dissolution; water masses