

研究论文

白令海和楚科奇海表层沉积硅藻分布特征

冉莉华 陈建芳 金海燕 李宏亮 卢勇 王奎

(国家海洋局第二海洋研究所,国家海洋局海洋生态系统和生物地球化学重点实验室,浙江 杭州 310012)

摘要 对中国第二次和第三次北极科学考察在白令海和楚科奇海获取的部分表层沉积物样品进行了详细的硅藻分析,旨在了解白令海和楚科奇海表层沉积硅藻的主要分布情况。研究发现海冰对北极硅藻有着显著的影响,在最小冰边缘线以北海域,由于常年被海冰覆盖,表层沉积物中的硅藻数量极少甚至缺失,而在此范围以南海域,硅藻含量则甚为丰富。白令海和楚科奇海表层沉积物中最主要的硅藻种类及组合有:角毛藻休眠孢子(*Chaetoceros resting spores*)、海冰硅藻组合(以 *Fragilariopsis oceanica* 和 *Fragilariopsis cylindrus* 为代表)、极地硅藻组合(优势种有 *Bacterosira bathyomphala*, *Thalassiosira antarctic* v. *borealis* 及其休眠孢子)、沿岸底栖硅藻组合(主要有 *Paralia sulcata* 和 *Delphoneis surirella*)、诺氏海链藻(*Thalassiosira nordenskiöldii*)和塞米新细齿藻(*Neodenticula seminae*)等。上述硅藻种类及组合具有显著的空间分布差异性,并与现代海洋环境因素密切相关,因此对于白令海和楚科奇海古海洋环境研究具有重要意义。

关键词 白令海 楚科奇海 表层沉积 硅藻

doi:10.3724/SP.J.1084.2012.00015

0 引言

高纬度海区是全球海洋生物硅最重要的汇集区域,北半球高纬海域生物硅沉积主要集中在北太平洋,白令海及鄂霍茨克海等海域^[1],其中白令海和鄂霍茨克海表层沉积物中生物蛋白石含量超过了 55%。与赤道太平洋生物硅沉积主要为放射虫骨骼不同,高纬海域生物硅沉积以硅藻细胞壁为主。硅藻作为海洋浮游生物最重要的组成成分之一,对于现代海洋生态环境有着重要的影响。此外,因具有数量大,分布广,对环境变化敏感以及在沉积物中保存良好等特征,硅藻被广泛用于古海洋学研究以重建过去古地理及古海洋环境演变过程。

自 19 世纪中期以来,北极硅藻便受到了广泛的关注,如早期的 Ehrenberg^[2], Cleve & Grunow^[3], Cleve^[4,5], Grunow^[6], Østrup^[7] 及 Gran^[8] 等人陆续对北极硅藻做了较详细的描述性研究。近年来,研究者们对北冰洋边缘海,如巴伦支海、喀拉海、东西伯利亚陆架海^[9-10],拉普捷夫海等^[11-12]、Nordic 海(包括挪威海、冰岛海及格陵兰海^[13])以及周边高纬海域,如鄂霍茨克海、白令海^[14-15]等海域表层沉积硅藻分布及其古生态、古海洋学意义进行了研究,并在此基础上对相关海域古海洋环境演变进行了恢复和重建^[15-17]。然而到目前为止沉积硅藻的研究还主要集中在东半球北极区域,有关西北极海域沉积硅藻的研究甚少;白令海表层沉积硅藻的研究也主要集中在白令海盆内^[15],对白令海陆架区沉积硅藻的

[收稿日期] 2011 年 8 月收到来稿,2011 年 8 月收到修改稿

[基金项目] 国家海洋局极地科学重点实验室开放研究基金资助项目(KP2008003)、国家海洋局第二海洋研究所基本科研业务费专项资金项目(JG0908)、国家自然科学基金项目(41076135)、国家自然科学基金项目(41003036)和中国极地战略研究基金(20080213)资助

[作者简介] 冉莉华,女,1982 年生。博士,助理研究员。E-mail:lihuaran@sio.org.cn

认识相对较少。

本文以中国北极科学考察期间所采集到的部分表层沉积物样品为基础,对白令海(主要为东北部陆架区)及楚科奇海(主要在 180°W 以东)表层沉积物进行详细的硅藻分析,以了解白令海及楚科奇海表层沉积硅藻的分布及其环境意义。

1 研究区域

白令海为阿拉斯加半岛、阿留申群岛、堪察加半岛和西伯利亚所环绕,是北太平洋最大的边缘海,因其独特的地理位置和地形条件,一直被广大海洋研究者关注。从东南角的布里斯托尔湾(Bristol)向西北延伸至白令海峡并与北极楚科奇海陆架相连的白令海东部陆架区甚为广阔,约占白令海总面积的一半,其中大部分陆架区受季节性海冰的强烈影响^[18]。而位于白令海西南部的阿留申盆地地势平坦,水深约为 3 800—3 900 m,基本不受海冰影响。白令海表层环流体系可大致分为两个部分,即白令海陆架环流系统和白令海海盆环流系统,其中白令海陆架表层环流主要包括西侧的陆架流、东部的阿拉斯加沿岸流以及位于两者之间由西向东的小支流,白令海海盆则主要被沿陆坡、堪察加半岛及阿留申群岛生成的反气旋式表层环流体系控制^[19]。白令海尤其是白令海盆因其沉积物中超高的蛋白石含量被称为硅海(the sea of silica)^[20]。Sancetta^[14-15]曾对白令海和鄂霍次克海表层沉积硅藻分布进行过较详细的研究,使我们白令海一些主要的硅藻属种及其分布情况有了初步的了解,但其研究主要涉及鄂霍次克海及白令海海盆区域,在白令海陆架区取样甚少。

楚科奇海位于北冰洋太平洋扇区,是北冰洋七大边缘海之一。位于其南端的白令海峡是连接太平洋与北冰洋的唯一通道,因此所有进入北极海域的太平洋海水都必须经过楚科奇海直至位于 73°N 附近的陆架坡折处进入北冰洋海盆^[21]。相对温暖且富含营养盐的太平洋水团对楚科奇海乃至整个北极海域都有重要影响,楚科奇海也因此而具有较高的初级生产力。太平洋水团自白令海峡进入楚科奇海后被分为西、中和东三个分支^[21]。中国北极科学考察在楚科奇海的采样区域主要为 180°W 以东海域(图 1),受中部和东部两个太平洋水团分支的影响。

前人研究发现,季节性变化的海冰非常有利于海冰硅藻的生长繁殖^[22],而楚科奇海表层沉积物中硅藻含量亦相当丰富^[23]。

2 材料与方法

中国第二次和第三次北极科学考察采集了丰富的沉积物样品,其中表层沉积物样品利用箱式和多管采样器采集而得,取顶部 0—2 cm 的样品用于表层沉积硅藻研究。本文对包括白令海、白令海峡、楚科奇海陆架区、陆坡区、海台区、波弗特海、加拿大海盆等海域共 57 个表层沉积物样品进行了硅藻鉴定和分析,站位分布见图 1。除部分样品硅藻检出量极少甚至缺失外,其余每个样品硅藻鉴定数量均不少于 300 枚。

沉积物硅藻制片参考了德国 Alfred-Wegener 极地与海洋研究所的硅藻制片方法^[24]。每个样品取出 1 g 左右的干样放入烧杯,先后加入适量稀释后浓度约为 10% 的稀盐酸及 30% 的过氧化氢,放置于恒温电热板上加热直至沉积物颜色变为灰白,以去除沉积物中的钙质和有机质,经过上述处理后的样品反复加入蒸馏水清洗残留的盐酸、过氧化氢及反应产生的其他溶液,同时利用沉降法去除直径小于 2 μm 的粘土矿物。在培养皿中固定好两片洁净的盖玻片,取 20 ml 左右用蒸馏水稀释过并混合均匀的沉积物悬浮液注入培养皿,静置 24 h 以上直至沉积物均匀沉淀至培养皿底部,利用吸水性强的纸条将上覆清水引出,待均匀覆盖了沉积物样品的盖玻片完全晾干后,将其用 Naphrax 胶($d = 1.72$)固定于载玻片上完成实验室硅藻制片,在 1 000 × Moti BA400 显微镜下进行硅藻属种鉴定。

3 结果与讨论

3.1 海冰对北极硅藻的影响

在 57 个表层沉积物样品中,有 24 个样品硅藻检出数量极少甚至缺失,其余 33 个沉积物样品中共鉴定出 95 个硅藻属种及变种。如图 1 所示,这 24 个样品所处站位(空心圆)均位于 73°N 以北,且所有纬度高于 73°N 的表层沉积物样品中硅藻检出量均极少。杨清良等人^[25]亦发现楚科奇海水体浮游植物(主要为硅藻)平均丰度在 73°N 往北出现明显

前人研究发现,角毛藻(包括 *Ch. socialis*、*Ch.*

Subsecundus、*Ch. compressus*、*Ch. furcellatus* 等种类) 是楚科奇海水体浮游植物的主要优势种,而在白令海内角毛藻占水体浮游植物的百分含量明显下降^[25],这可能是楚科奇海表层沉积物中角毛藻休眠孢子含量普遍较高的主要原因。此外,中国北极科学考察现场观测发现白令海沉积物颜色较楚科奇海沉积物要浅,而沉积物颗粒较楚科奇海粗,这表明白令海水动力条件更强,含有丰富有机物质的细颗粒沉积物被搬运走,而残留了含有机质较少的粗颗粒物^[29],因此个体小而质量轻的角毛藻休眠孢子亦可能更容易被搬运走。

Sancetta^[15]认为白令海角毛藻休眠孢子含量高与浮游植物生产力有密切联系,然而我们的研究结果显示在浮游植物生产力水平相对较高的白令海峡附近和陆架区^[30]角毛藻休眠孢子百分含量反而低于浮游植物生产力水平相对较低的海盆区。王汝建和陈荣华^[31]研究发现,白令海硅质生物的保存程度与水深、温盐度及陆源物质输入等环境因素有关,水深越浅、盐度越低的海域,海水溶解作用越强,硅藻碎壳率越高,而陆架和陆坡区域因接受了更多较粗的陆源物质而具有较强的空隙水溶解作用,也会导致硅质生物保存度低。因此,白令海陆架区可能因水深较浅、受盐度较低的阿拉斯加沿岸流及入海河流影响较强,沉积物颗粒较粗等因素导致了较强的溶解作用,而角毛藻休眠孢子相对其他硅藻更易于溶解,因此在角毛藻休眠孢子最低的含量出现在白令海陆架区域。此外,Sancetta^[15]指出即便是在生产力水平很高的海域,个体小而质量轻的角毛藻休眠孢子因易受风和底层流的影响,亦可能被迁移至附近海盆中沉积下来,因而白令海陆架区角毛藻休眠孢子含量较低也可能与此有关。

在高纬度海域由于角毛藻休眠孢子含量甚高,容易对其他硅藻种类含量信息造成稀释效应,因此绝大部分研究者在计算其他硅藻百分含量时都事先减去角毛藻休眠孢子的数量^[12,24]。为与其他研究结果保持统一,本文在此之后的硅藻百分含量均指各硅藻数量占硅藻总量减去角毛藻休眠孢子数量的百分含量。

3.2.2 海冰硅藻

Fragilariopsis 是最常见的极地硅藻属之一,其中 *Fragilariopsis oceanica* 和 *Fragilariopsis cylindrus* 是环北极海域最常见的两种浮游硅藻种^[32-33]。

Hasle^[34]总结了大量关于 *F. oceanica* 的报道,发现该种普遍存在于水温为 $-1\sim-3^{\circ}\text{C}$ 的北极沿岸海域浮游植物群落和海冰中。*F. cylindrus* 是仅有几种在南北两极海域均广泛分布的硅藻种之一^[34],常出现于浮冰中以及寒冷水域的浮游植物群落里。杨清良等人^[25]发现 *F. oceanica* 是楚科奇海水体浮游植物最主要的优势种之一,而在白令海则退居次优势种之一。Sancetta^[15]发现 *F. oceanica* 在楚科奇海南缘表层沉积物中含量较高,在白令海陆架区次之,在白令海海盆区及整个鄂霍次克海沉积物中含量最低;*F. cylindrus* 含量相对较高的站位也主要出现在白令海北部陆架区,而在白令海海盆和鄂霍次克海海盆及北太平洋海域,其含量过低甚至缺失^[15]。由此可以看出,随着纬度增加,表层海水温度降低,海冰覆盖率增加,上述两种海冰硅藻含量亦随之增加。

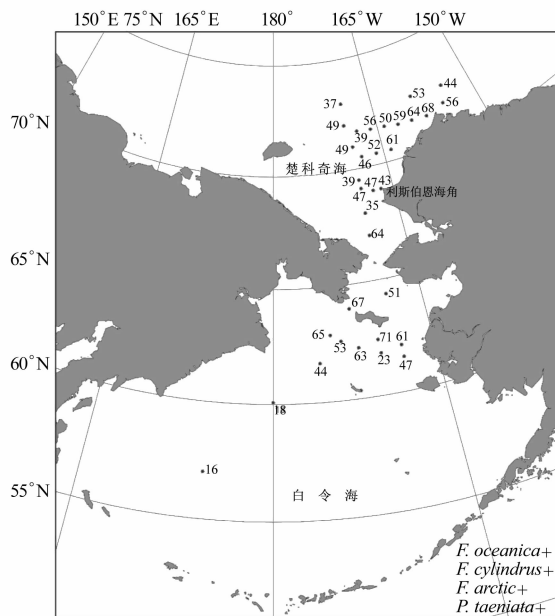


图3 白令海和楚科奇海海冰硅藻百分含量分布图
Fig. 3. The distribution of sea ice diatoms in the Bering Sea and Chukchi Sea

除了 *F. cylindrus* 和 *F. oceanica* 外, *Fossula arctic* 及 *Pauliella taeniata* 也是典型的北极海冰硅藻^[12,28],但含量相对较低,本文将这四种硅藻合并为海冰硅藻组合以便讨论。如图3所示,海冰硅藻组合占研究海域表层沉积硅藻总量的百分含量为16%—71%(除去角毛藻休眠孢子,以下同),平均含量约为50%,其中除白令海海盆内两个站位含量低于20%外,其余站位海冰硅藻含量都甚为丰富。

前人研究表明大部分白令海陆架区都受到季节性海冰的影响,但海冰的影响却很少到达白令海海盆区^[18],如图1所示,除白令海盆内的BR02、BR07站外,其余调查站位均位于最大冰边缘区(即1979—2010年3月平均15%海冰覆盖区,来自NSICD)以内。因此,白令海海盆内海冰硅藻含量较低与其受海冰影响较弱有关,而在白令海陆架区及楚科奇海,因受季节性海冰的强烈影响,海冰硅藻含量均很丰富,除少数站位(如NB17, 23%)外,大部分站位表层沉积物硅藻均以海冰硅藻为主。

3.2.3 极地硅藻种

Bacterosira bathyomphala、*Thalassiosira antarctic* v. *borealis*、*Thalassiosira antarctic* 休眠孢子、*Porosira glacialis* 以及 *Dentonula confervaceae* 休眠孢子等硅藻种常在高纬度水温较低的海域出现。但区别于海冰硅藻,上述这些硅藻种更常出现于无冰的海域,因此在前人研究中被称为极地硅藻种,其中 *B. bathyomphala* 和 *T. antarctic* v. *borealis* 及其休眠孢子是白令海和楚科奇海最主要的极地硅藻种^[15,33]。

B. bathyomphala 在 Nordic 海、格陵兰沿岸海域、鄂霍次克海及白令海等海域均有出现。前人研究发现,该种在白令海海盆西部含量相对较高,从白令海陆架西部向北至 Anadyr 湾逐渐减少,在白令海陆架北部及楚科奇海南缘含量较低^[15]。*T. antarctic* 又分为 *T. antarctic* v. *antarctic* 和 *T. antarctic* v. *borealis*, 分别分布在南大洋高纬度海域及北半球高纬度海域^[33]。Sancetta^[15] 发现在白令海和鄂霍次克海存在两种形态的 *T. antarctic*, 一种壳面凸起弧度较大,壳面眼纹呈不规则辐射排列,另一种壳面较平,壳面眼纹呈规则的辐射或束状排列,我们认为第一种形态的硅藻更接近 *T. antarctic* 休眠孢子,而第二种硅藻形态则可能是其植物细胞 *T. antarctic* v. *borealis*, 其中 *T. antarctic* 休眠孢子因硅化较强,更易于保存,因此在沉积物中其含量明显高于 *T. antarctic* v. *borealis*。前人研究中, *T. antarctic* 及其休眠孢子常出现于北极拉普捷夫海^[12]、拉布拉多海^[35] 及 Nordic 海等海域^[24,36] 表层沉积物中。Sancetta^[15] 发现 *T. antarctic* v. *borealis* 在白令海陆架区含量甚低,其休眠孢子在陆架西部和中部含量高于东部陆架区及阿留申海盆,而在堪察加半岛以东的 Komandorsky 海盆含量甚高。综上所述,极地硅藻 *B. bathyomphala*、*T. antarctic* 及其休眠孢子的百分

含量在白令海西部海域高于东部,白令海南部海域高于北部及楚科奇海南缘。

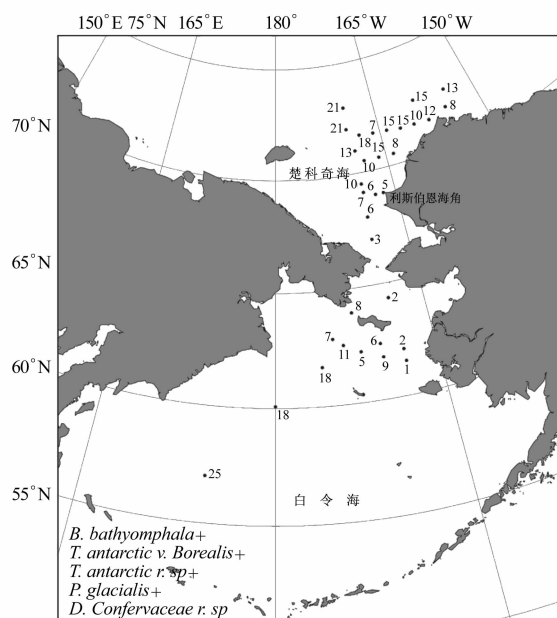


图4 白令海和楚科奇海极地硅藻百分含量分布图
Fig. 4. The distribution of Arctic diatoms in the Bering Sea and Chukchi Sea

如图4所示,白令海和楚科奇海极地硅藻百分含量变化范围为1%—25%。白令海海盆内极地硅藻含量较高,而北部陆架区邻近西伯利亚海域其含量高于阿拉斯加沿岸海域,其中最低的含量出现在离阿拉斯加最近的NB19站。楚科奇海北部海域极地硅藻含量较高,绝大多数超过10%,而在南部及阿拉斯加沿岸海域含量相对较低。从上述分布情况来看,极地硅藻百分含量可能受阿拉斯加沿岸流一定程度的影响,在受沿岸流影响较强的区域,其百分含量相对较低。

3.2.4 沿岸底栖硅藻

Paralia sulcata 是世界性广布种,典型的沿岸底栖硅藻,但也常出现于浮游硅藻群落中^[33],故被认定为是偶然性浮游种(tychoplankton)。*Delphoneis surirella* 所隶属的具槽藻属主要生活在冷水至温水海域,是典型的沿岸浅水种,常出现于砂质、泥砂质海岸带,附着于沙粒或其他颗粒物上,亦可能被风浪卷起而呈浮游形态^[33]。

图5显示了上述两种沿岸底栖硅藻在白令海和楚科奇海表层沉积物中的分布情况,如图所示,在白令海东北部陆架区邻近阿拉斯加海域沿岸底栖硅藻

最为丰富,楚科奇海南部靠近利斯伯恩海角沿岸海域其含量也比较丰富,在楚科奇海中北部,白令海盆以及白令海峡附近沿岸底栖硅藻的百分含量依次降低。由此可以看出沿岸底栖硅藻组合主要分布在受阿拉斯加沿岸流影响较大的陆架区域。

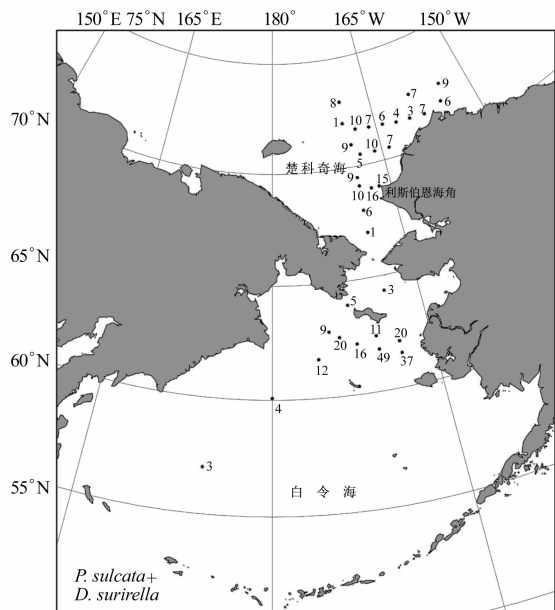


图5 白令海和楚科奇海沿岸底栖硅藻百分含量图
Fig. 5. The distribution of coastal benthic diatoms in the Bering Sea and Chukchi Sea

3.2.5 诺氏海链藻 (*Thalassiosira nordenskiöldii*)

T. nordenskiöldii 常出现于北半球中高纬海区,是春季冰消融北极浅海藻华最常见的浮游硅藻种^[37-39]。Passche^[37]认为该种的大量出现是极地海域春季到来的标志之一,其较适宜的生活水温为3—5℃。Cremer^[12]发现 *T. nordenskiöldii* 常紧随北极冰边缘区海冰硅藻藻华后大量出现。

如图6所示, *T. nordenskiöldii* 在白令海峡附近海域最为丰富,其最高含量出现在白令海北端,达到41%,在楚科奇海南部及中部以及白令海海盆内亦相对丰富,在楚科奇海阿拉斯加沿岸海域含量较低,在 St. Lawrence 岛以南的白令海陆架海域该种含量最低。

3.2.6 塞米新细齿藻 (*Neodenticula seminae*)

N. seminae 是生活于北太平洋高纬海区的典型浮游硅藻之一,目前在纬度低于42°N的海域鲜有发现。前人研究发现,该种大量出现于东北太平洋及白令海海域^[15,40],在白令海内集中分布于西南

部^[25],至东北部陆坡区,其含量陡然下降,在水深小于1 000 m 的海域,其含量甚低^[15]。

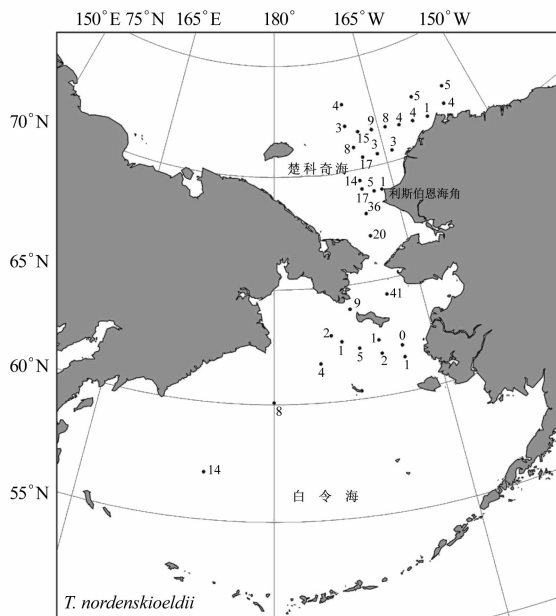


图6 白令海和楚科奇海诺氏海链藻百分含量分布图
Fig. 6. The distribution of *T. nordenskiöldii* in the Bering Sea and Chukchi Sea

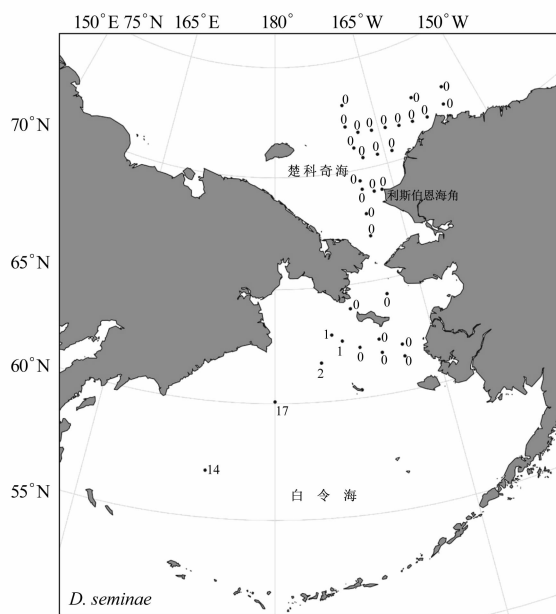


图7 白令海和楚科奇海塞米新细齿藻百分含量分布图
Fig. 7. The distribution of *N. seminae* in the Bering Sea and Chukchi Sea

如图7所示, *N. seminae* 仅出现于白令海,且主要分布在白令海盆内,在白令海陆架西部有少量出现。由此可见, *N. seminae* 主要局限于白令海海盆

区内,而很少出现于水深较浅的陆架区以及纬度较高的楚科奇海域。

4 结论

本文对白令海和楚科奇海表层沉积物样品进行了详细的硅藻分析,主要研究发现如下:

(1) 海冰对北极硅藻具有重要影响。在多年平均最小冰边缘线以北,即常年被大量浮冰覆盖的海域,硅藻的生长繁殖受到了显著抑制,故在表层沉积物中硅藻检出量极少甚至缺失。在多年平均最大冰边缘线以北,即受季节性海冰影响的海域,海冰硅藻

含量甚丰,是表层沉积硅藻的优势组合。

(2) 角毛藻休眠孢子在楚科奇海表层沉积物中含量较白令海高,这可能与白令海水动力条件强于楚科奇海有关。白令海东北部陆架海域角毛藻休眠孢子含量较低则可能与其水深较浅,受阿拉斯加沿岸流及入海河流影响,沉积颗粒物较粗等因素有关,也可能与风和底层流的搬运作用有关。

(3) 极地硅藻组合主要分布在白令海海盆及楚科奇海中北部;沿岸底栖硅藻组合则主要分布在白令海东北部陆架及楚科奇海 Lisburne 海角附近海域;诺氏海链藻在白令海峡附近含量最丰富;而塞米新细齿藻则主要分布在白令海海盆区以内。

参考文献

- 1 McCoy F W, Sancetta C. North Pacific sediments // Nairn A E M, Stehli F G, Uyeda S. The Ocean basins and margins. Volume 7a: The Pacific Ocean. New York: Plenum Press, 1985:1—64.
- 2 Ehrenberg C G. Einen Nachtrag zum Vortrage über Verbreitung und Einfluß des mikroskopischen Lebens in Süd- und Nord Amerika. Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin Monatsberichte 202-7, 1841.
- 3 Cleve P T, Grunow A. Beiträge zur Kenntniss der arctischen Diatomeen. Kongliga Svenska Vetenskaps - Akademiens Handlingar, 1880, 17(2): 1—121.
- 4 Cleve P T. Diatoms collected during the expedition of the Vega // Nordenskiöld A E. Vega- Expeditionens Vetenskapliga Iakttagelser. 1883, 3: 455—517.
- 5 Cleve P T. Diatoms from Franz Josef Land collected by the Harmsworth-Jackson Expedition and Examined. Bihang till Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar 24 Afd. 1898, 3(2):3—26.
- 6 Grunow A, Die Diatomeen von Franz Josef-Land. Denkschriften der Akademie der Wissenschaften Wien. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse I, 1884, 48:53—112.
- 7 Østrup E. Marine Diatoméer fra Østgrønland. Meddeleser om Grønland, 1895, 18:397—476.
- 8 Gran H H. Diatomaceous from the ice-floes and plankton of the Arctic Ocean. Scientific Results of the Norwegian North Polar Expedition, 1904, 4(11):3—74.
- 9 Polyakova Y I. Diatoms of Arctic seas of the USSR and their significance in the study of bottom sediments. Oceanology, 1988, 28:221—225.
- 10 Polyakova Y I. Peculiarities of the diatom thanatocoenoses formation in the sediments of the Eurasian Arctic seas. Okeanologiya, 1994, 34(3): 444—453.
- 11 Cremer H. The diatom flora of the Laptev Sea (Arctic Ocean). Bibliotheca Diatomologica, 1998, 40:1—169.
- 12 Cremer H. Distribution patterns of diatom surface sediment assemblages in the Laptev Sea (Arctic Ocean). Marine Micropaleontology, 1999, 38(1):39—67.
- 13 KoçKarpuz N, Schrader H. Surface sediment diatom distribution and Holocene paleotemperature variations in the Greenland, Iceland and Norwegian Sea. Paleoceanography, 1990, 5(4):557—580.
- 14 Sancetta C. Oceanographic and ecologic significance of diatoms in surface sediments of the Bering and Okhotsk seas. Deep Sea Research, 1981, 28(8):789—817.
- 15 Sancetta C. Distribution of diatom species in surface sediments of the Bering and Okhotsk seas. Micropaleontology, 1982, 28(3):221—257.
- 16 Koç N, Jansen E, Hafliðason H. Paleoceanographic reconstructions of surface ocean conditions in the Greenland, Iceland and Norwegian Seas through the last 14 ka based on diatoms. Quaternary Science Reviews, 1993, 12(2):115—140.
- 17 Bauch H A, Polyakova Y I. Diatom-inferred salinity records from the Arctic Siberian Margin: Implications for fluvial runoff patterns during the Holocene. Paleoceanography, 2003, 18(2):1027, doi:10.1029/2002PA000847.
- 18 Niebauer H J, Bond N A, Yakunin L P, et al. An update on the climatology and sea ice of the Bering Sea // Loughlin T R, Ohtani K. Dynamics of the Bering Sea. Alaska:University of Alaska Sea Grant, 1999:29—59.

- 19 Takahashi K. The Bering Sea and paleoceanography. *Deep-Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 2005, 52(16-18):2080—2091.
- 20 Tsunogai S, Kusakabe M, Iizumi H, et al. Hydrographic features of the deep water of the Bering Sea-the sea of silica. *Deep-Sea Research Part A, Oceanographic Research Papers*, 1979, 26(6):641—659.
- 21 Woodgate R A, Aagaard K, Weingartner T J. A year in the physical oceanography of the Chukchi Sea; Moored measurements from autumn 1990-1991. *Deep-Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 2005, 52(24-26):3116—3149.
- 22 von Quillfeldt C H, Ambrose W G, Clough L M. High number of diatom species in first-year ice from the Chukchi Sea. *Polar Biology*, 2003, 26(12):806—818.
- 23 Polyakova Y I. Diatoms of the Eurasian arctic seas and their distribution in surface sediments. *Berichte zur Polarforschung*, 1996:315—324.
- 24 Gersonde R, Zielinski U. The reconstruction of late Quaternary Antarctic sea-ice distribution-the use of diatoms as a proxy for sea-ice. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, 162(3-4):263—286.
- 25 杨清良, 林更铭, 林茂, 等. 楚科奇海和白令海浮游植物的种类组成与分布. *极地研究*, 2002, 14(2):113—125.
- 26 Kanaya T, Koizumi I. Interpretation of diatom thanatocoenoses from the North Pacific applied to a study of core V20-130. *Tohoku University Science Reports Series*, 1996, 37(2):89—130.
- 27 Kozlova O G, Strelnikova N, Y. Diatoms in the plankton, suspended matter and bottom sediments of the northeastern part of the Pacific // *Micropaleontology of the oceans and seas*. Moscow: Oceanographic Commission, Akademiia Nauk. SSSR. In Russian, 1974:63—75.
- 28 Jensen K G. Holocene hydrographic changes in Greenland coastal waters; Reconstructing environmental change from sub-fossil and contemporary diatoms. Ph. D. thesis. Copenhagen; University of Copenhagen, 2003.
- 29 高爱国, 陈荣华, 程振波, 等. 楚科奇海与白令海海洋地质研究进展. *海洋科学*, 2001, 25(12):41—45.
- 30 刘子琳, 陈建芳, 陈忠元, 等. 白令海光合浮游生物现存量 and 初级生产力. *生态学报*, 2006, 26(5):1345—1351.
- 31 王汝建, 陈荣华. 白令海表层沉积物中硅质生物的变化及其环境控制因素. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2004, 29(6):685—690.
- 32 Medlin L K, Priddle U. *Polar Marine Diatoms*. Cambridge: British Antarctic Survey, 1990:214.
- 33 Hasle G R, Syvertsen E E. *Marine diatoms* // Tomas C R. *Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates*. San Diego: Academic Press 1997:5—385.
- 34 Hasle G R. *Nitzschia and Fragilariopsis species studied in the light and electron microscopes. III. The genus Fragilariopsis*. *Skrifter utgitt av Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo I. Matematisk-Naturvidenskabelig Klasse New Series*, 1965, 21:1—49.
- 35 De Sève M A. Transfer function between surface sediment diatom assemblages and sea-surface temperature and salinity of the Labrador Sea. *Marine Micropaleontology*, 1999, 36(4):249—267.
- 36 Jiang H, Seidenkrantz M S, Knudsen K L, et al. Diatom surface sediment assemblages around Iceland and their relationships to oceanic environmental variables. *Marine Micropaleontology*, 2001, 41(1-2):73—96.
- 37 Paasche E. Growth of the plankton diatom *Thalassiosira nordenskiöldii* Cleve at low silicate concentrations. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1975, 18(2):173—183.
- 38 Schandelmeier L, Alexander V. An analysis of the influence of ice on spring phytoplankton population structure in the southeast Bering Sea. *Limnology and Oceanography*, 1981, 26(5):935—943.
- 39 Syvertsen E E. Ice algae in the Barents Sea: types of assemblages, origin, fate and role in the ice-edge phytoplankton bloom. *Polar Research*, 1990, 10(1):277—287.
- 40 Schrader H J. Cenozoic diatoms from the northeast Pacific, Leg 18 // Kulm L D, von Huene R, et al. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. Washington DC: Government Printing Office, 1973, 18:673—797.

THE DISTRIBUTION OF SURFACE SEDIMENT DIATOMS IN THE BERING SEA AND CHUKCHI SEA

Ran Lihua, Chen Jianfang, Jin Haiyan, Li Hongliang, Lu Yong, Wang Kui

(Second Institute of Oceanography, SOA Key Laboratory of Marine of Ecosystem and Biogeochemistry, Hangzhou 310012, China)

Abstract

Diatoms from surface sediment samples in the Bering Sea and Chukchi Sea were analyzed to reveal the distri-

bution pattern of the surface sediment diatoms and their relationship with the ocean environment. Diatom was found to be absent in sediment samples from north of the Arctic Sea Ice Minimum, showing the growth and reproduction of diatoms are strongly inhibited by sea ice. In areas between the Arctic Sea Ice Minimum and Maximum, i. e. areas influenced by seasonally changed sea ice, the sea ice diatoms (mainly *Fragilariopsis oceanica* and *Fragilariopsis cylindrus*) was found to be the dominant diatom species. Arctic sea ice was therefore confirmed to be an important influencing factor for surface sediment diatoms in the Bering and Chukchi Seas. The *Chaetoceros* resting spores were more abundant in the Chukchi Sea than the Bering Sea, which was coincident with the composition of modern phytoplankton in these areas, and can possibly be attributed to stronger hydrodynamic condition in the Bering Sea. This species was least abundant on the northeast Bering shelf, possibly because of the lower water depth, stronger effect of the coastal current and river influx, relatively coarser sediment particles, and relatively strong wind and bottom current. The Arctic diatom group (dominated by *Bacterosira bathyomphala*, *Thalassiosira antarctic* v. *borealis* and *Thalassiosira antarctic* resting spore) was more abundant in the Bering basin and the central and north Chukchi Sea, while the coastal benthic diatom group (including *Paralia sulcata* and *Delphoneis surirella*) was mainly found on the northeast Bering Shelf and near Cape Lisburne in the Chukchi Sea. *Thalassiosira nordenskioldii* was most plentiful nearby the Bering Strait, and *Neodenticula saminae* was only found in the Bering Sea, especially in the Bering basin, indicating close correlation with the Pacific waters.

Key words Bering Sea, Chukchi Sea, surface sediment, diatom