

文章编号: 1000-0550(2010)04-0768-08

# 楚科奇海 R12a 沉积柱状样 500 年以来生物标记物记录<sup>①</sup>

白有成<sup>1</sup> 陈建芳<sup>1</sup> 李宏亮<sup>1</sup> 金海燕<sup>1</sup> 张海生<sup>1</sup> 王奎<sup>1</sup> 邢磊<sup>2</sup> 赵美训<sup>2</sup>

(1. 国家海洋局第二海洋研究所 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. 中国海洋大学海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室 山东青岛 266100)

**摘要** 通过多参数生物标志物法对取自中国第二次北极考察的 R12a 岩心顶部 40 cm 样品进行了浮游植物和种群结构变化的研究, 获得了 500 a 以来浮游植物初级生产力和种群结构变化信息。结果表明: R12a 岩心在过去的 500 多年来, 所记录的海洋初级生产力呈上升趋势, 单一藻类的生产力总体上也呈现上升趋势。浮游植物种群结构主要表现为颗石藻相对含量下降, 硅藻相对含量上升, 甲藻没有明显的波动, 这可能与北太平洋水输入决定的楚科奇海营养盐结构及夏季海冰覆盖变化有关。

**关键词** 生物标志物 海洋初级生产力 种群结构 楚科奇海

**第一作者简介** 白有成 男 1984 年出生 硕士 有机地球化学

**通讯作者** 陈建芳 E-mail: biogeo\_chen@hotmail.com

**中图分类号** P593 **文献标识码** A

## 0 引言

海洋拥有 55 倍于大气的二氧化碳含量, 并通过海洋“生物泵”控制海洋碳循环。海洋初级生产者及其群落结构, 对于海洋生态系统发展和海洋“生物泵”过程具有重要的意义, 而古生产力及其群落结构的再造, 是理解地球气候的演化发展的重要手段。北冰洋对全球气候有着重要的影响<sup>[1-4]</sup>, 北极陆架是世界上最大的陆架, 陆架边缘海面积几乎占了整个北冰洋的 1/3, 是世界陆架海面积的 25%, 自西向东分别有巴伦支海、喀拉海、拉普捷夫海、东西伯利亚海、楚科奇海和波弗特海。其最显著的特征是覆盖着大面积随季节变化的海冰、大体积的淡水和营养物质注入, 这使北极对全球气候变暖和由变暖而引起的生态系统变化更加敏感<sup>[5-8]</sup>, 北极能够提供早期气候记录并以放大信号的形式显示全球变化。

生物标志物已广泛应用于古海洋—古环境研究中, 但在楚科奇海的应用仍然比较薄弱, 研究多集中于喀拉海、拉普捷夫海和斯瓦尔巴德等大西洋扇区<sup>[9-11]</sup>, 在北冰洋太平洋扇区的工作相对较少<sup>[12-13]</sup>。非色素类脂生物标志物作为一种新的地球化学指标, 可以用来重建过去的海洋环境和生态。Schubert 等<sup>[14]</sup>是最早利用多生物标志物法重建古浮

游植物群落的研究者之一。其后, 许多研究者在世界不同海域也利用这一方法重建了浮游植物种群结构的变化<sup>[15-18]</sup>。

本次工作对楚科奇海 R12a 沉积柱状样进行高分辨率的分子有机地球化学分析, 并对其蕴含的古环境信息进行了初步的探讨。运用菜子甾醇( Brassicasterol, 硅藻标志物), 长链烯酮(  $C_{37}$  Alkenones, 颗石藻标志物), 甲藻甾醇( Dinosterol, 甲藻标志物), 胆甾醇( Cholesterol, 浮游动物标志物) 等生物标志物来重建 500 a 以来浮游植物生产力和生物种群结构变化历史。

## 1 材料和方法

### 1.1 样品采集

R12a 沉积柱样( 72°30'13" N, 168°59'05" E, 水深 77 m) 取自 2003 年中国第二次北极考察( 图 1) 柱长 342 cm, 整个柱状样岩性均一, 为粉砂质, 有机碳含量在 0.26% ~ 1.60% 之间变化, 微臭, 顶部 0 ~ 2 cm 为浮泥, 无结构和构造, 样品在 -20℃ 储存。

### 1.2 样品前处理和仪器分析

本次工作取柱状样上层 40 cm, 共采集样品 21 个。样品采集后冷冻保存, 经提取、分离, 进行有机质定性和定量分析, 提取、分析的有机质主要包括: 长链

①国家自然科学基金( 批准号: 40476003), 中国极地战略研究基金( 编号: 20070201, 20070212, 20080213), 国家海洋局青年基金( 编号: 2008602) 和国家海洋局第二海洋研究所基本科研业务费专项( JG200820) 联合资助。  
收稿日期: 2009-05-10; 收修改稿日期: 2009-09-20

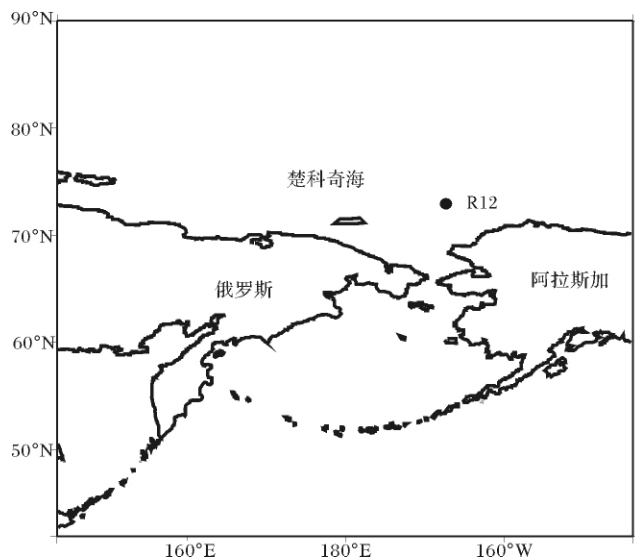
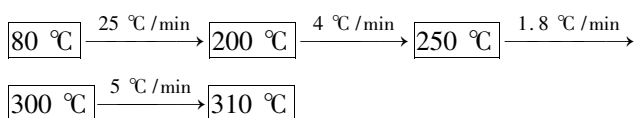


图 1 采样站位示意图

Fig. 1 Sampling stations

正构烷烃类,长链正构醇类,烯酮类,甾醇类。有机质提取分离的方法简述如下:将冷冻干燥后的沉积物样品研磨,称取适量,加入甲醇:二氯甲烷混合溶液萃取有机质。重复萃取若干次,收集上清液于玻璃瓶中,将抽提液在氮吹仪下吹干后,加入 6% KOH 的甲醇溶液进行碱水解,并室温放置过夜后过硅胶柱(200~300 目)分离。含有生物标志物的中性组分经氮吹富集,衍生化处理后上机分析。气相色谱分析步骤如下:色谱条件:HP-1 色谱柱,柱长 50 m,内径 0.32 mm,涂层 0.17 μm, FID 检测器温度 300℃,进样口温度:300℃。分五段升温程序,采用不分流进样,载气为 H<sub>2</sub>,流速 1.2 mL/min。



分子化合物的定性主要是根据峰的保留时间来定性,定量采用内标法,生物标志物含量,由其峰面积和内标峰的面积对比计算得到。同时选取部分样品通过气相色谱-质谱联用进行定性分析,色谱条件,质谱条件如下:离子源:EI 源,离子源温度:250℃;发射电子能量:70eV,扫描范围:m/z 50~650amu,接口温度:300℃。

### 1.3 沉积物年代测定

沉积物年代标定通过<sup>210</sup>Pb<sub>ex</sub>测试,称取样品数克,在低于 40℃ 温度下烘干,轻压成粉末,称干重,计算干湿比。装样品于样品盒内,用蜡两次密封盒盖,放置 7~10 d,即可上机分析。

取 151 cm 处的<sup>210</sup>Pb 的放射性比度 1.50 dpm/g 为该柱样的本底值。计算得到 R12a 柱的沉积速率为 0.81 mm/a。与前人在此区域得到的沉积速率的结果一致<sup>[19]</sup>,以沉积速率 0.81 mm/a 对 R12a 岩心前 40 cm 定年,底部年龄为 500 a。

### 1.4 指标说明

硅藻、颗石藻、甲藻等浮游植物是重要的海洋初级生产者,在本次工作中,选取较为广泛应用的甾醇、烯酮类浮游植物生物标志物对海洋初级生产力群落进行研究。胆甾烷、麦角甾烷、甲藻甾烷等系列化合物为稳定构型碳骨架的生物标志化合物,而甾醇,长链烯酮为不稳定化合物,样品中检测到此类化合物,说明样品有机质未经历过较强热作用和微生物作用

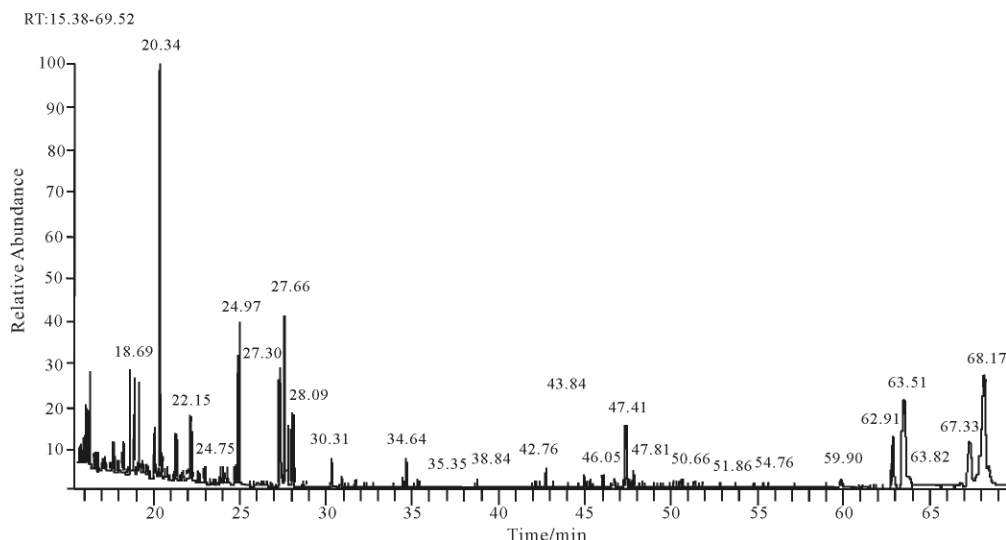


图 2 生物标志物总离子流图

Fig. 2 Total ion chromatograms of biomarkers

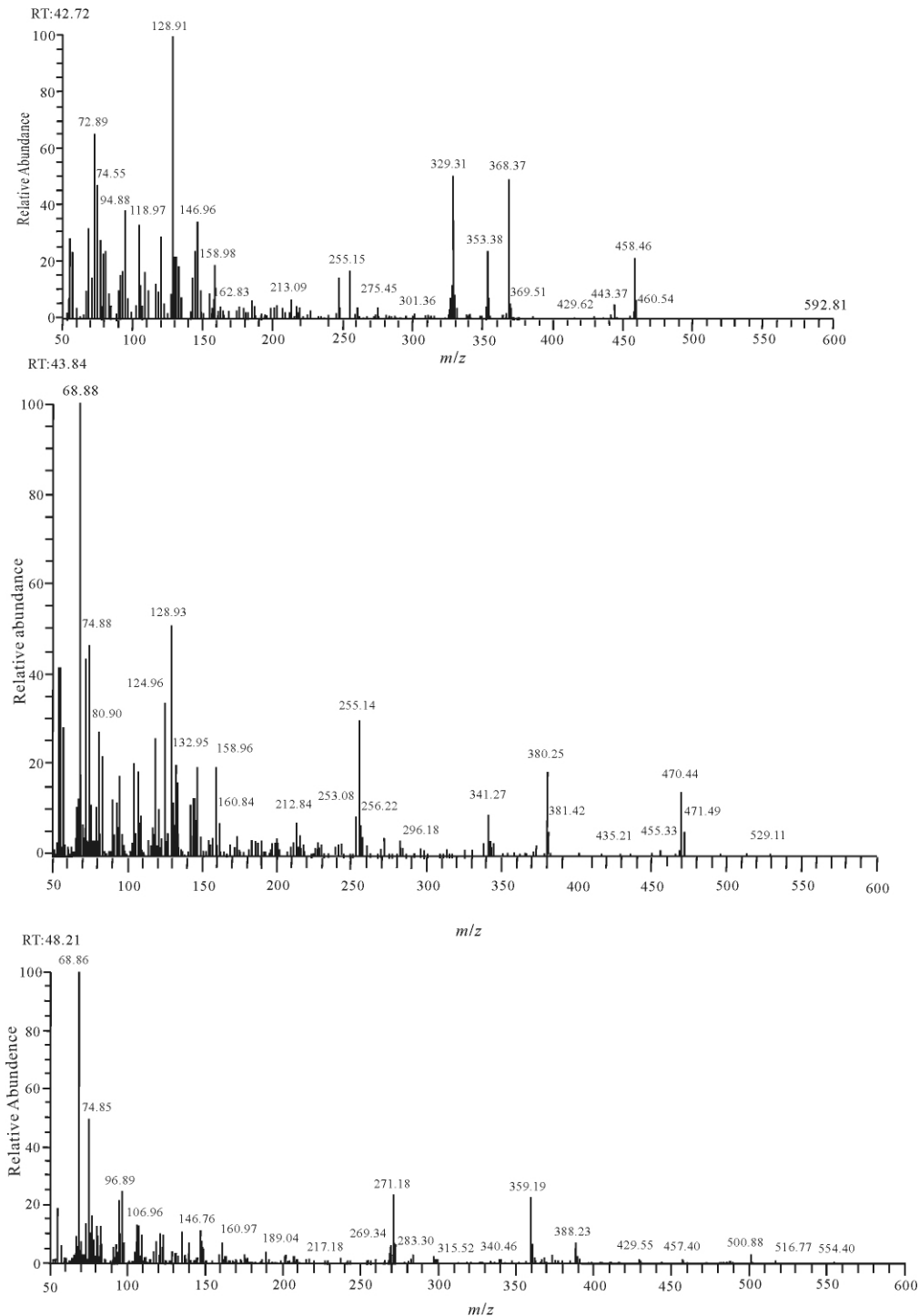


图3 生物标志物(胆甾醇, 菜子甾醇, 甲藻甾醇) 质谱图

Fig. 3 Spectrography of biomarkers (Cholesterol, Brassicasterol, dinosterol)

的改造过程。甾醇,长链烯酮已被用来作为总的和单一浮游植物古生产力的重建指标<sup>[20]</sup>。通过对这几种生物标志物的测量,重建作为主要海洋初级生产力的浮游植物群落在过去500 a的发展变化。我们主要利用长链烯酮、甲藻甾醇和菜子甾醇分别指示颗石

藻、甲藻和硅藻的生产力。只有颗石藻分泌直链烯酮(Alkenone),其中 *Emiliania huxleyi* 和 *Gephyrocapsa oceanica* 是其最为主要的来源<sup>[21]</sup>。甲藻甾醇主要是由甲藻产生的<sup>[22]</sup>,菜子甾醇是主要的植物甾醇类,其主要来源是硅藻,因此可以用菜子甾醇来指示硅藻生

产力的变化。在北冰洋海区, 硅藻、甲藻是浮游植物的主要贡献群体<sup>[23-25]</sup>。假设  $C_{37}$  直链烯酮( coccolithophores 颗石藻)、甲藻甾醇( dinoflagellates 沟鞭藻)、菜子甾醇( diatom 硅藻) 和  $C_{30}$  diol( Eustigmatophytes 黄绿藻) 组成了初级生产力群落, 将它们之和作为总的初级生产力, 记为 Total P。胆甾醇( Cholesterol) 可作为浮游动物的指标, 也可在一定程度上反映总初级生产力——浮游植物的繁盛会提供丰富的食物给浮游动物, 从而刺激其生长。把这些指标结合起来, 可以反映浮游生物群落结构的变化。

## 2 结果及讨论

### 2.1 R12a 岩心 500 年以来的初级生产力变化

R12a 岩心的  $C_{37}$  直链烯酮( coccolithophores 颗石藻)、甲藻甾醇( dinoflagellates 沟鞭藻)、菜子甾醇( diatom 硅藻) 和  $C_{30}$  diol( Eustigmatophytes 黄绿藻) 等几

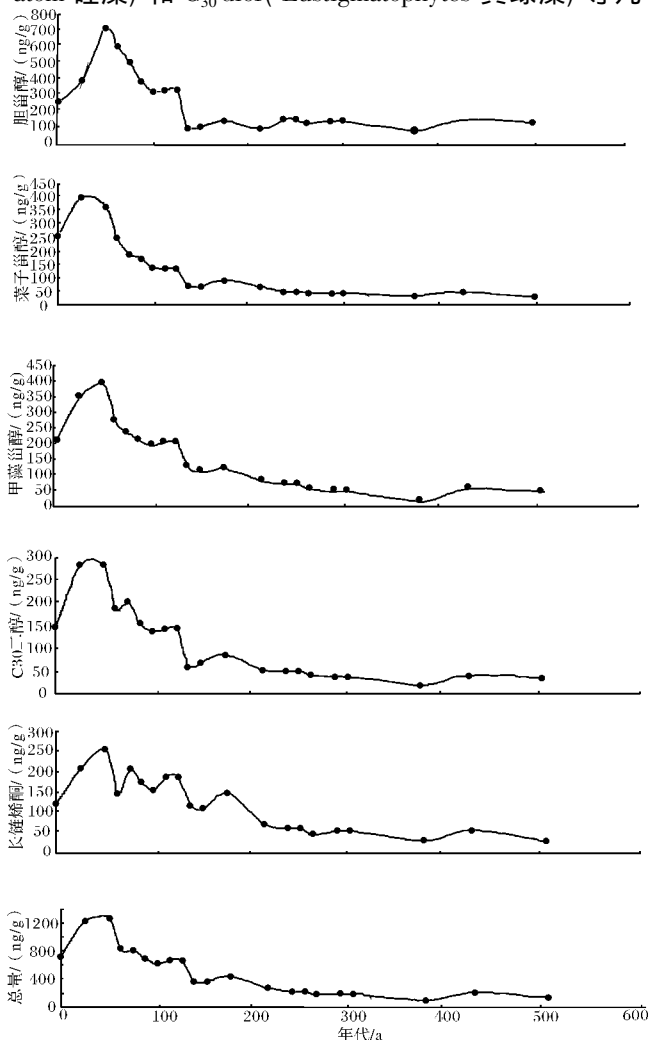


图 4 R12 站生物标志物含量的变化

Fig. 4 Biomarkers content records for R12

种生物标志物的含量及总含量的变化如图 4 所示。本柱状样中甲藻甾醇和菜子甾醇的含量最高,  $C_{37}$  直链烯酮和  $C_{30}$  diol 的含量较低。

由上图可以看出, 在过去的 500 a 里, 四种生物标志物总和(  $C_{37}$  直链烯酮( coccolithophores 颗石藻)、甲藻甾醇( dinoflagellates 沟鞭藻)、菜子甾醇( diatom 硅藻) 和  $C_{30}$  diol( Eustigmatophytes 黄绿藻) ) 的含量变化范围为 112 ~ 1 300 ng/g, 总体上呈上升趋势, 特别是在最近的 350 a 内。菜子甾醇含量的变化范围为 32 ~ 401 ng/g, 甲藻甾醇为 28 ~ 397 ng/g,  $C_{30}$  diol 的变化范围为 19 ~ 281 ng/g,  $C_{37}$  直链烯酮为 28 ~ 260 ng/g。由图 4 不难看出, R12 岩心生物标志物含量的变化与单一生物标志物含量的变化有很好的一致性, 这也可以用  $x - y$  线性关系来表示。图 5 中可以发现  $C_{30}$  二醇和甲藻甾醇的相关性最好(  $R^2 = 0.97$  ), 其他几种生物标志物的相关性也较好, 如  $C_{37}$  直链烯酮和甲藻甾醇的  $R^2 = 0.87$ , 菜子甾醇和甲藻甾醇的  $R^2 = 0.91$ , 这些生物标志物间较好的相关性表明此沉积岩心中各种植物的变化是基本一致的。

胆甾醇主要由各种海洋浮游动物产生, R12a 岩心的胆甾醇在 86 ~ 700 ng/g 之间变化, 其含量逐渐升高, 特别是在最近的 150 a 里。在过去的 500 a 里, 胆甾醇含量的变化与甲藻甾醇、菜子甾醇的变化趋势基本相似, 这也意味着硅藻和甲藻初级生产的速率与浮游动物的异氧速率有很好的相关性。楚科奇海主要浮游动物是挠足类、磷虾类、水母类、毛颚类、介形类等<sup>[26]</sup>, 它们都有可能是胆甾醇的来源。将岩心总生物标志物量的变化和胆甾醇的变化做曲线, 发现两者有较好的相关。总而言之, R12a 岩心生物标志物的记录显示过去 500 a 以来浮游植物初级生产力和浮游动物的含量都是逐渐增加的。海洋浮游植物生产力的变化与营养盐的输送有着密切的关系。

楚科奇海域是北太平洋与北冰洋进行相互联系的通道, 该海域的生态系统结构、生产力和海洋通量受北冰洋环流、海冰动力过程的影响, 同时也与进入楚科奇海的北太平洋水的性质有关。太平洋水通过白令海峡后分为三支, 包括东部温暖、低盐度的 ACC 流<sup>[27]</sup>, 水道中部的白令海陆架流和海峡西部低温、高盐度的阿纳德尔流( AC)。大约有 0.1 Sv 的东西伯利亚流间歇地流入楚科奇海, 但它的影响现在没有很好的理解<sup>[28]</sup>。另外海冰覆盖也是北冰洋初级生产力的重要制约因素。海洋生产力受海冰的影响明显, 主要表现在: (1) 透过海冰进入表层水的阳光少, 海冰

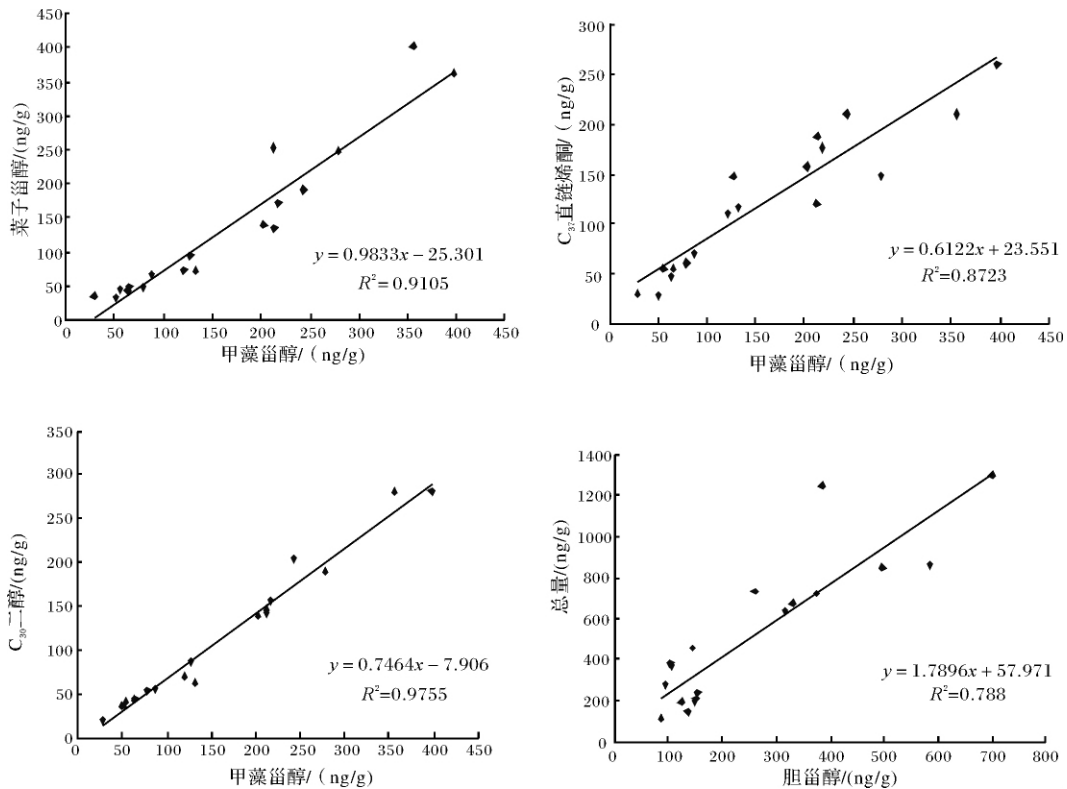


图5 R12 岩心各种生物标志物间的关系

Fig. 5 The linear relations for biomarkers

对表层水的生物生产力有明显的抑制作用<sup>[29]</sup>; (2) 海冰为冰藻的生长提供了条件,冰藻在北极地区普遍发育,对北冰洋中部初级生产力的贡献能占到一半以上<sup>[30]</sup>; (3) 因为冰融化,海冰边缘区生产力特别是硅藻的生产力高<sup>[31]</sup>。当温度增高,海冰融化时,海水透光度增加,有利于光合作用,浮游植物和藻类大量繁殖,进一步增加生产力。在冬季,海冰覆盖了大部分楚科奇海,并延伸到白令海峡使水柱温度和盐度变化范围很窄<sup>[28]</sup>。在晚春和夏季,海冰退化,营养盐丰富的表层水受持续的光照并引起一个短暂但是强烈的浮游植物繁殖的发生。在这个繁殖期间,净初级生产速率高达  $300 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ <sup>[32]</sup>。在这个繁殖结束时,表层水中的硝酸盐浓度有了很大提高,陆架混合层中生物产生的 DOC/N 的浓度增加了  $14 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[33]</sup>。过去 20 a 北极气候发生了明显的变化,海冰面积 30 a 来退缩了 5%<sup>[34]</sup>。R12a 站位采样时海冰覆盖已锐减至 10%<sup>[35]</sup>,位于冰边缘海区。过去 350 a 来生产力的急剧提高,也进一步说明了北极气候的变化。

## 2.2 R12a 岩心 500 年以来的浮游初级生产力结构变化

海洋浮游植物种群结构是控制生物泵效率的重要因素<sup>[36,37]</sup>,因此研究种群结构的变化对寻找气候的变化规律具有重要的意义。生物标志物含量不但可以作为单一浮游植物含量的参数,同时它们在总生产力中所占的相对百分含量,也可作为衡量各浮游植物群对总生产力贡献的指标,反映海洋浮游植物群落结构的改变。在本讨论中,以三种主要的藻类生物标志物  $C_{37}$  直链烯酮( coccolithophores 颗石藻)、甲藻甾醇( dinoflagellates 沟鞭藻)、菜子甾醇( diatom 硅藻)近似作为海洋总初级生产力,将其作为一个整体,分别计算其他三种生物标志物在其中所占的比例,作为它们在总海洋初级生产力中所占比例,这一比例虽然不能直接反映生产力群落的真实组成,但它的变化可以反映各浮游植物群落对各生产力贡献的相对变化,图 6 表示出了三种主要浮游植物硅藻、甲藻和颗石藻的生物标志物与其总量的比值的(总和作为 100%)的变化,也就是说硅藻、甲藻和颗石藻在过去 500 a 的相对贡献的变化。在一定程度上,这种比值可以用来估计浮游生物种群结构的变化。

三种生物标志物与其总量的比值的(总和作为 100%)的变化表明浮游植物种群结构在过去的 500 年里发生了明显的变

化,从变化趋势上看,可以把过去 500 a 的记录分为 3 个部分。500~380 a,生产力变化基本稳定,颗石藻和硅藻相对比例有一定增加,甲藻相对比例下降。在 380~180 a,总初级生产力升高,但甲藻、硅藻、颗石藻相对比例变化波动较大,主要表现在颗石藻相对比例在 250 a 达到低值后有升高,甲藻相对含量在 250 年达到高值后又降低,而硅藻一直降低。在 180 a 至今,总初级生产力有明显的升高,硅藻和甲藻相对比例都迅速增大,而颗石藻相对含量却下降。整体来看,总初级生产力一直是升高的,颗石藻相对含量下降,硅藻相对含量上升,甲藻没有明显的波动,这说明 R12 岩心在这段时间里浮游植物种群结构发生了变化。

浮游植物种群的变化不但与总生产力变化有关,而且还与其他的环境因素有着密切的关系。在群落结构中,光和营养盐是最重要的竞争资源,不同初级生产力群落对营养盐的需求也不相同,硅藻和颗石藻对氮磷比较敏感,而甲藻对碳磷比较敏感。海洋藻类的光合作用与辐照度的关系也是影响生产力群落的重要因素,甲藻比硅藻更适宜于较高的光强<sup>[8]</sup>。北冰洋周边河流输入东西伯利亚陆架、喀拉海、拉普捷夫海及波弗特海的营养盐,与通过白令海峡输入楚科奇海的营养盐相比,北极河流输送的营养盐要低 1~2 个数量级,楚科奇海海域海水表现出高温、低盐和营养盐丰富的特点。在高营养盐的情况下,甲藻和硅藻比颗石藻具有竞争优势。浮游植物是海洋生态系统的初级生产者,在生态系统的物质循环和能量流动中起着不可替代的作用。由于浮游植物所处的光合层易受外界影响,环境效应和反馈作用显著,可以推断该时期北极海洋生物泵过程对气候变化作出响应。

过去 20 a 以来,北极气候发生了明显的变化,白令海海冰面积 30 a 来退缩了 5%<sup>[9]</sup>。Walsh 等<sup>[9]</sup>报告了北冰洋中部 1986—1994 年期间的海面压力就比 1979—1985 年期间降低了 5 hPa; Rigor 等<sup>[10]</sup>发现了整个北冰洋冬季和春季表面空气温度持续变暖趋势,而 10 a 来北冰洋东部春季增高了 2℃。北极是全球变化的敏感地区,开展北极地区沉积物的研究有利于揭示气候环境演变,也有利于探讨全球气候环境变化机制。许多研究已成功利用古代沉积物中的类脂物质,恢复水体中的不同浮游植物生物量和群落组成,生物标志物法不失为一种快速有效的方法,虽然还需进一步完善和改进。

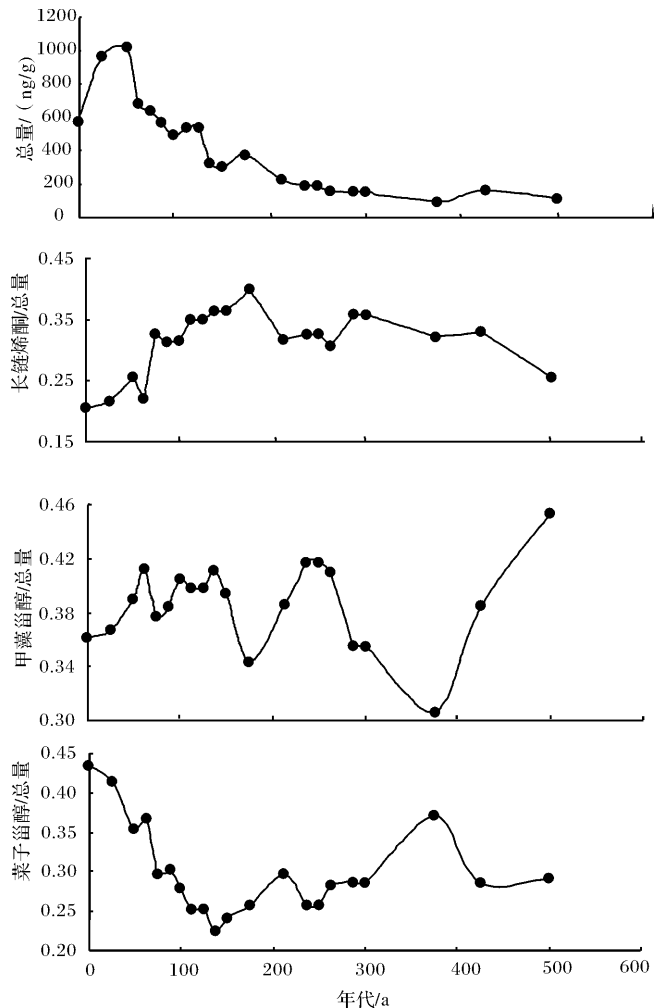


图6 R12 站柱状沉积物中三种主要浮游植物生物标志物量与其总量的比值

Fig. 6 Relative percentage of biomarker indicative of diatoms, dinoflagellates and coccolithophorids for R12 over the last 500a

### 3 结论与认识

(1) 运用生物标志物指示了 R12a 岩心过去 500 a 里浮游植物初级生产力的变化,发现总初级生产力呈上升趋势,单一藻类的生产力总体上也呈现上升趋势。这主要与北太平洋水质及楚科奇海海冰覆盖有关。

(2) R12a 岩心所记录的浮游植物种群结构发生了变化。整体来看,总初级生产力一直是升高的,颗石藻相对含量下降,硅藻相对含量上升,甲藻没有明显的波动,尤其是在过去 200 a 里,这也反映了营养盐结构的变化。

致谢 感谢 2003 中国北极科考队全体队员以及雪龙号全体船员为样品的采集付出的艰辛的劳动。

特别是李秀珠、王汝建、韩贻兵、高爱国、刘小涯等在采样过程中的帮助,感谢国家海洋局第二海洋研究所钱江初老师在沉积柱状样年代测定方面提供的帮助,感谢同济大学李丽老师、中国海洋大学张海龙在实验过程中的帮助。

### 参考文献(References)

- Aagaard K. A synthesis of the Arctic Ocean circulation. Rapporteur Par - Volume Reun [J]. Conseil International Exploration de la Mer, 1989, 188: 11-22
- Walsh J E, Chapman W L. Arctic contribution to upper ocean variability in the North Atlantic [J]. Journal of Climate, 1990, 3: 1462-1473
- Mysak L A, Manak D K, Marsden R F. Sea ice anomalies in the Greenland and Labrador Seas during 1901-1984 and their relation to an interdecadal Arctic climate cycle [J]. Climate Dynamics, 1990, 5: 111-133
- Hakkinen S. An Arctic source for the great salinity anomaly: a simulation of the Arctic ice-ocean system for 1955-1975 [J]. Journal of Geophysical Research, 1993, 98: 16397-16410
- 陈建芳, 张海生, 金海燕, 等. 北极陆架沉积碳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]
- Moritz R E, Perovich D K. Arctic System science ocean-atmosphere-ice interactions. SHEBA surface heat budget of the Arctic Ocean science plan. ARCSS/OAII Report No. 5. University of Washington, Seattle 1996: 60
- Manabe S, Stouffer R E J. Study of abrupt climate change by a coupled ocean-atmosphere model [J]. Quaternary Science Reviews, 2000, 19: 285-299
- Cuffey K M, Clow G D, Alley R B, et al. Larger Arctic temperature change at the Wisconsin-Holocene Glacial Transition [J]. Science, 1995, 270: 455-458
- Schubert C J, Stein R. Deposition of organic carbon in Arctic sediments: terrigenous supply vs marine productivity [J]. Organic Geochemistry, 1996, 24: 421-436
- Stein R, Fahi K. Holocene accumulation of organic carbon at the Laptev Sea continental margin (Arctic Ocean): sources, pathway, and sinks [J]. Geo-Marine Letters, 2000, 20: 27-36
- Boucein B, Stein R. Particulate organic matter in the surface sediments of the Laptev Sea (Arctic Ocean): application of maceral analysis as organic carbon source indicator [J]. Marine Geology, 2000, 162: 573-586
- Goni M A, Yunker M B, Macdonald R W, et al. Distribution and sources of organic biomarkers in arctic sediments from Mackenzie River and Beaufort shelf [J]. Marine Chemistry, 2000, 71: 23-51
- Belicka L L, Macdonald R W, Harvey H R. Sources and transport of organic carbon to shelf, slope and basin surface sediments of the Arctic Ocean [J]. Deep Sea Research I, 2002, 49: 1463-1483
- Schubert C J, Villanuev a J, Calvert S E, et al. Stable phytoplankton community structure in the Arabian Sea over the past 200,000 years [J]. Nature, 1998, 394(6693): 563-566
- Seki O, Ikehara M, Kawamura K, et al. Reconstruction of paleoproductivity in the Sea of Okhotsk over the last 30 kyr [J]. Paleoceanography, 2004, 19(1): 1016
- Dahl K A, Repeta D J, Goericke R. Reconstructing the phytoplankton community of the Cariaco Basin during the Younger Dryas cold event using chlorin sterylesters [J]. Paleoceanography, 2004, 19(1): 19-29
- Menzel D, van Bergen P F, Schouten S, et al. Reconstruction of changes in export productivity during Pliocene sapropel deposition; a biomarker approach [J]. Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol. 2003, 190: 273-287
- Calvo E, Pelejero C, Logan G A, et al. Dust-induced changes in phytoplankton composition in the Tasman Sea during the last four glacial cycles [J]. Paleoceanography, 2004, 19: 2020
- Huh Chih-an et al. Natural radionuclides and plutonium in sediments from the western Arctic Ocean: Sedimentation rates and pathways of radionuclides [J]. Deep-Sea Research, 1997, 44: 1725
- Zhao M X, Mercer J L, Eglinton G, et al. Comparative molecular biomarker assessment of phytoplankton paleoproductivity for the last 160 kyr off Cap Blanc, NW Africa [J]. Organic Geochemistry, 2006, 37(1): 72-97
- Wakeham S G, Peterson M L, Hedges J I, Lee C. Lipid biomarker fluxes in the Arabian Sea, with a comparison to the equatorial Pacific Ocean [J]. Deep-Sea Research, 2002, 49(12): 2265-2301
- Volkman J K, Barrett S M, Blackburn S I et al. Microalgal biomarkers: a review of recent research developments [J]. Organic Geochemistry, 1998, 29(5-7): 1163-1179
- Belicka L L, Macdonald R W, Yunker M B, Harvey H R. The role of depositional regime on carbon transport and preservation in Arctic Ocean sediments [J]. Marine Chemistry, 2004, 86: 65-88
- 杨清良, 林更铭, 林茂. 楚科奇海和白令海浮游植物的种类组成与分布 [J]. 极地研究, 2002, 14(2): 113-125 [Yang Qingliang, Lin Gengming, Lin Mao. Species composition and distribution of phytoplankton in Chukchi Sea and Bering Sea [J]. Chinese Journal of Polar Research, 2002, 14(2): 113-125]
- 陈荣华, 孟翊, 华棣, 等. 楚科奇海与白令海表层沉积物中的钙质和硅质微体化石研究 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(4): 25-30 [Chen Ronghua, Meng Yi, Hua Di, et al. Calcareous and siliceous microorganisms in surface sediments of Chukchi and Bering Seas [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2001, 21(4): 25-30]
- 陈立奇, 等. 北极海洋环境与海气相互作用研究 [M]. 北京: 海洋出版社, 2003: 254-291 [Chen Liqi, et al. Marine Environment and Air-Sea Interaction in the Arctic Region [M]. Beijing: Ocean Press, 2003: 254-291]
- Paquette R G, Bourke R H. Observations on the coastal current of Arctic Alaska [J]. Journal of Marine Research, 1974, 32: 195-207

- 28 Woodgate R A , Aagaard K , Weingartner T J . A year in the physical oceanography of the Chukchi Sea: moored measurements from autumn 1990-1991 [ J ] . *Deep-Sea Research II* , 2005 , 52: 3116-3149
- 29 Naidu A S , Cooper L W . Organic carbon isotope ratios of Arctic American continental shelf sediments [ J ] . *International Journal of Earth Sciences* , 2000 , 89: 522-532
- 30 Gossel IN 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
- 31 Cremer H . Distribution patterns of diatom surface sediment assemblages in the Laptev Sea ( Arctic Ocean ) [ J ] . *Marine Micropaleontology* , 1999 , 38( 1) : 39-67
- 32 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 , this issue [ doi: 10. 1016/j. dsr2. 2005. 09. 009 ]
- 33 Mathis J T , Hansell D A , Kadko D , *et al.* . Determining net dissolved organic carbon production in the hydrographically complex western Arctic Ocean [ J ] . *Limnology and Oceanography* , 2007 , 52 ( 5) : 1789-1799
- 34 Chapman W L , Walsh J H . Recent variations of sea ice and air temperatures in high latitudes [ J ] . *Bulletin of America Meteorology Society* , 1993 , 74 : 33-47
- 35 NationIceCenter 2001 [ EB/OL ] . [http://www.natice.noaa.gov/pub/west-arctic/Bering\\_sea/Bering\\_sea\\_west/2003](http://www.natice.noaa.gov/pub/west-arctic/Bering_sea/Bering_sea_west/2003) [ 2005-12-01 ]
- 36 Boyd p , Newton P . Evidence of the potential influence of planktonic community structure on the interannual variability of particulate organic carbon flux [ J ] . *Deep-sea Research I* , 1995 , 42( 5) : 619-639
- 37 Boyd p , Newton P . Does planktonic community structure determine downward particulate organic carbon flux in different oceanic provinces? [ J ] . *Deep-sea Research I* , 1999 , 46: 63-91.
- 38 沈国英 施并章编著. 海洋生态学 [ M ] . 北京: 科学出版社 , 2002 [ Shen Guoying , Shi Bingzhang. *Marine Ecology* [ M ] . Beijing: Science Press , 2002 ]
- 39 Walsh J E , Chapman W L , Shy T L . Recent decadal decrease of sea level pressure in the Central Arctic [ J ] . *Journal of Climate* , 1996 , 9 ( 2) : 480-485
- 40 Rigor I G , Colony R L , Martin S . Variations in surface air temperature observations in the Arctic , 1979-1997 [ J ] . *Journal of Climate* , 2000 , 13( 5) : 896-914

## Biomarker Records in Sediment Core of R12a from the Chukchi Sea during the Last 500 Years

BAI You-cheng<sup>1</sup> CHEN Jian-fang<sup>1</sup> LI Hong-liang<sup>1</sup> JIN Hai-yan<sup>1</sup>  
ZHANG Hai-sheng<sup>1</sup> WANG Kui<sup>1</sup> XING lei<sup>2</sup> ZHAO Mei-xun<sup>2</sup>

( 1. Second Institute of Oceanography SOA , Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry of SOA , Hangzhou 310012;

2. College of Chemistry and Chemical Engineering , Ocean University of China , Qingdao Shandong 266100)

**Abstract** This paper used multi-biomarkers to study the R12a core's top 40 cm samples' phytoplankton and community sampled during the Second Chinese Arctic expedition from the Chukchi Sea in summer , 2003 , and to obtain the information of the phytoplankton production and community change since 500 a. The results indicate the total and individual primary productivity increased over the last 500 a. The phytoplankton community structure mostly show the contributions of coccolithforids decreased , the contribution of diatoms increased , and the relative abundances of dinoflagellates not have obvious changes. This may be related with the Chukchi Sea's nutrients structure which is determined by the waters from the north Pacific Ocean and the summer ice cover change in the Chukchi Sea.

**Key words** biomarkers; marine productivity; community structure; Chukchi Sea