

两极与中低纬地区粪土层生物标志物性质比较

汪建君^{1,2}, 孙立广¹

(1. 中国科学技术大学极地环境研究室, 安徽合肥 230026;

2. 国家海洋局海洋-大气化学与全球变化重点实验室, 第三海洋研究所, 厦门 361005)

摘要: 作为一个新的生态环境信息的载体, 粪土沉积层很好地恢复了第四纪古生态记录, 包括历史时期鸟类数量变化乃至人类文明历史, 以及它们和气候环境变化的关系. 在本研究中, 我们分析了南极阿德雷岛企鹅粪土沉积物、北极斯瓦尔巴群岛的 Ny-Alesund 的海鸟粪土沉积物、中国南海西沙群岛中的东岛海鸟的聚居地沉积物、安徽省蒙城县尉迟寺人类文明古文化遗址等沉积物的生物标志物性质, 并分别与生物标型元素组合对比. 尽管同为粪土沉积层, 但是由于所处地理位置不同、沉积环境不同、鸟类或人类粪便的不同以及当地植被的不同, 四地沉积物的生物标志物显示出了不同的特征. 相对生物标型元素组合, 生物标志物提供了更为丰富的生态信息, 包括历史时期鸟类数量和植被丰度变化. 生物标志物和生物标型元素相互印证, 完善了我们对粪土沉积层的了解, 加深了对这四个区域生态和环境演变过程的理解, 使我们得以更好地研究古生态演变和古环境变化之间的关系和响应.

关键词: 粪土沉积物; 生物标志物; 生态系统演化; 粪便甾醇

中图分类号: P512.2 **文献标识码:** A

Comparisons of biomarkers of four fecal sediments from high, middle and low latitudes

WANG Jian-jun^{1,2}, SUN Li-guang¹

(1. Institute of Polar Environment, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;

2. Key Laboratory of Global Change and Marine-Atmospheric Chemistry, TIO, SOA, Xiamen 361005, China)

Abstract: As a novel carrier of paleoecology and paleoenvironment, fecal sediments have been used to reconstruct the history of seabird population or human civilization of Quaternary. Herein our study, we analyzed biomarkers of ornithogenic sediment from penguin colonies on Ardley Island, Antarctica; ornithogenic sediment from seabird colonies of Ny-Alesund, Svalbard, Arctic; ornithogenic sediment from seabird colonies of Dongdao Island, South China Sea, China and paleoculture of Yuchisi Site, Mengcheng, Anhui, China. Biomarkers of the four fecal sediments show quite different distributions due to their different locations, sedimental environments, different seabirds or human feces and different vegetations. Compared with the bioelements, the biomarkers can provide more abundant information about the evolutions of the ecosystems, including the historical seabird populations and vegetation abundances. The

收稿日期: 2007-03-06; 修回日期: 2007-06-15

基金项目: 国家自然科学基金(40730107, 40676004)资助.

作者简介: 汪建君, 女, 1978年生, 博士. 研究方向: 有机地球化学. E-mail: jjun@ustc.edu

通讯作者: 孙立广, 教授. E-mail: slg@ustc.edu.cn

combination of organic and inorganic biomarkers could give more accurate and richer information for their characteristics and also for paleoenvironment and paleoclimate.

Key words: fecal sediments; biomarkers; evolution of ecosystem; fecal sterols

0 引言

粪土沉积层是过去生态环境信息记录的新的载体,在已有的研究中,与第四纪地质学、元素和同位素地球化学、沉积学、矿物学、构造地质学等经典的地质学方法结合,可探讨宏观的生态、气候与环境变化的主题^[1].

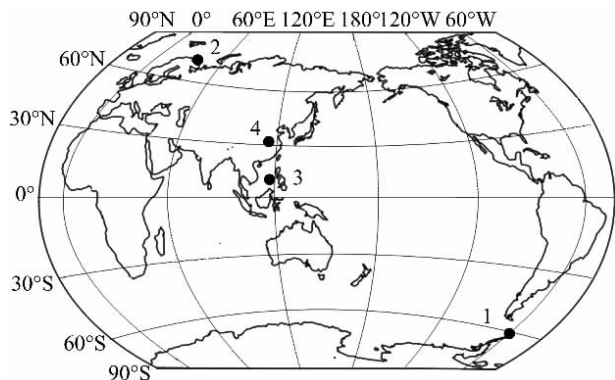
Sun et al. 利用南极阿德雷岛企鹅粪土沉积物 Y2 中 Sr, F, S, P, Zn, Ba, Ca, Cu, Se 9 种标型元素组合恢复了当地 3 000 年来的企鹅数量变化的历史,并且与气候变化进行了对比,认为气候的变化影响到企鹅数量的波动^[2]. 后继的研究发现该企鹅粪土沉积物酸溶性⁸⁷Sr/⁸⁶Sr^[3], $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ ^[4] 以及几丁质酶基因含量^[5] 的深度变化曲线和生物标型元素相似,都可恢复地史时期企鹅数量的变化. 同样的方法运用到海豹粪土沉积物中,也获得了成功^[6]. 之后对粪土层的研究扩大至北极海鸟粪土沉积^[7,8]、中国南海西沙群岛的鸟粪土沉积^[9,10] 乃至中国淮北尉迟寺古人类文明遗址^[11] 中. 大量的研究表明,粪土沉积层不仅保存了动植物数量变化的历史信息及其与气候变化的响应关系,还包含了动物食谱、海洋化学等丰富的古生态、古环境信息;粪土层中 Hg, Pb 等重金属污染物,可以反演人类文明发展的历史^[11]. 生物标型元素组合和 C, N 同位素所表征的历史时期海鸟数量变化或者人类文明的兴衰,使得我们可以更好的了解气候变化对生态系统的影响及生态系统对气候变化的响应.

在本文中,我们将对两极与中低纬度四地的粪土层的有机地球化学性质进行研究,并与已有的研究作对比,深度挖掘粪土层更多的信息,完善我们对粪土层的了解.

1 研究区域

本文所研究的区域包括南极阿德雷岛、北极斯瓦尔巴群岛的 Ny-Alesund 地区、中国南海西沙群岛的东岛和淮河流域的安徽省蒙城县尉迟寺古文化遗址(图 1). 其中南极阿德雷岛、斯瓦尔巴群岛的 Ny-Alesund 地区和中国南海西沙群岛中的东岛都是海鸟的聚居地,安徽省蒙城县尉迟寺遗址是人类

古文明活动的遗址. 本研究工作是在中国科学技术大学极地环境研究室野外采样和无机元素分析的基础上进行的,采样地点的描述和岩性分析已为本研究小组有关论文论述^[1,6~13].



1. Y2-1: 南极阿德雷岛企鹅粪土沉积物;
2. YN: 北极斯瓦尔巴群岛的 Ny-Alesund 地区鸟粪土沉积物;
3. DY4: 中国西沙群岛东岛鸟粪土沉积物;
4. YC: 安徽省蒙城县尉迟寺遗址人类古文化活动沉积堆积

图 1 研究区域

Fig. 1 Map of studied areas

南北极、西沙的鸟粪土沉积和安徽淮河古文化人类活动堆积等四个剖面由于处在不同的纬度带,沉积环境和生态系统显现出不同的特点(表 1). 南极阿德雷岛的企鹅粪土(下文简称“南极”或者“Y2-1”)沉积柱样基本呈灰黑色或灰黄绿色,植物保存较好,可见植物残体,TOC(总有机碳)浓度较高,基本在 7%~8% 附近浮动,年代可回溯至 2 400 a BP 左右^[2,14]. 北极斯瓦尔巴的鸟粪土(简称“北极”或者“YN”)沉积自表层向底层由呈黑色至棕褐色、棕红色、棕黑色、黄绿色、棕红色变化,70 cm 下鸟粪土层发现有较多贝壳,TOC 含量不高,表层受附近煤矿影响达 10%,底层低于 1%,年代为 4 000~12 000 a BP^[7]. 西沙东岛的(简称“西沙”或者“DY4”)鸟粪土层纹理清晰,呈棕绿色或红褐色,保存有大量的植物叶片、种子等残体以及海鸟、鱼的残骨,该层最下段开始出现大的珊瑚和贝壳等生物碎屑. 鸟粪土层 TOC 较高,在 10% 左右,其年代在 1 300 a BP 左右^[9,10]. 安徽淮河尉迟寺古文化遗址(简称“尉迟寺”或者“YC”)堆积颜色

表 1 两极与中低纬地区粪土层性质比较(综合自孙立广等资料^[2,7~10])

Tab. 1 Comparisons between four fecal sediments from Antarctica, Arctica, South China Sea and Middle China

编号	Y2-1	YN	DY4	YC
所处区域	南极阿德雷岛	北极新奥尔松	中国南海东岛	中国安徽蒙城
经纬度	62°13'S, 58°56'W	78°55'N, 11°56'E	16°39'N, 112°43'E	32°55'N, 116°16'E
生物	企鹅	北极海鸟	海鸟-红脚鲑鸟	人类
时代	0~2 400 a BP	4 000~12 000 a BP	0~1 300 a BP	4 000~5 050 a BP
TOC/%	0.39~7.49	0.34~5.76	0.33~11.72	0.29~1.72
平均值/%	4.17	1.11	5.73	0.57
Bioelements	S, P, Sr, Ba, Ca, Cu, Zn, F, Se	Sr, Se, Ca, Zn	As, Cd, Cu, Se, Zn, P, S	Cu, Zn, Ni, Sr, SSr

呈灰黑、灰黄、黄色或红褐色,有炭屑或陶片的存在, TOC 不高,大部分层位在 1% 左右,年代为 4 000~5 050 a BP^[11].

生物标型元素的必要条件是:这些元素在非生物来源的背景土壤中是微量元素,由于区域地球化学指标和生物种类的差别、生物种类生活密度的区别,生物标型元素在不同地区会有所不同.跨越南北两极,包括中低纬度的四个粪土沉积层样品的生物标型元素组合由于地域和生态环境的不同,显示出数目和组成的不同(表 1),但都在 S, P, Sr, Ba, Ca, Cu, Zn, F, Se, As, Cd, Ni 这 12 个元素范围内.

就采样时的观察,相对来说,南极企鹅和东岛的海鸟(红脚鲑鸟为主)数量较多,群居且密集,对沉积物中生物标型元素的数量和丰度影响也更为明显, TOC 也较高;北极海鸟群居密度小些,生物源的贡献相对较小,生物标型元素的数量和丰度相对较低,因此生物标型元素数量也少些;人类群居的密度与海鸟相比,密度小些,生态系统相对复杂些,因此人类生活区域的沉积物的影响因素也更多. Y2-1 沉积物中的生物标型元素为 9 个, DY4 的生物标型元素 7 个, YN 和 YC 各 5 个,在这四个沉积物中的生物标型元素丰度的深度曲线和 TOC 相似,受到生物活动的影响.

TOC 为沉积物中的总有机碳,包括了烃类、醇类、酸类等生物标志物,这些生物标志物直接来源于生物体;影响沉积物中有机物的组成和分布的因素除去来源外,还有有机质沉积过程的改造作用,因此生物标志物对历史时期的生物活动和环境变化有很好的指示作用^[15]. 我们将分析这四个生物沉积物中的生物标志物分布,并和生物标型元素的结果比较,研究这四个区域沉积物由于周边动物、植被和环境不同而造成生物标志物的不同.

2 研究方法

2.1 TOC 分析方法

有机碳(TOC)测试采用高温外热重铬酸钾氧化-容量法,其具体的操作过程是:在电子天平上称取研磨好的样品(<120 目)0.2 g 左右,并准确到 0.1 mg,放入 150 mL 的三角瓶中,加 0.1 g 粉末状 Ag_2SO_4 ,然后准确加入 5.00 mL 的 0.800 0 mol/L 重铬酸钾标准溶液、5 mL 化学纯硫酸,摇匀,加热硝化,最后用 0.2 mol/L 的硫酸亚铁进行氧化还原滴定,计算出有机碳含量.

2.2 生物标志物分析方法

样品冷冻干燥后,用二氯甲烷和甲醇的混合溶液抽提 72 h,底瓶加铜片脱硫.抽提液浓缩后加入 0.5 M KOH/MeOH 溶液皂化两个小时.以正己烷萃取中性组分,之后加稀盐酸调抽提液至 $\text{pH} < 2$,以正己烷/二氯甲烷(9:1)萃取酸性组分,无水硫酸钠脱水.中性组分浓缩至 2~3 mL,用硅胶柱分离烃类和醇类两个组分.醇类和酸类组分氮气吹干,加 BSTFA(N, O-Bis trimethylsilyltrifluoroacetamide)衍生化.

烷烃、醇类和酸性组分都进行 GC-MS 分析,其中烷烃和酸性组分以 GC-MS 分析定量,醇类以 GC 分析定量.色谱-质谱检测器型号为 HP 5792 型 GC-MSD,色谱柱 HP5 50 m×0.32 mm×0.17 μm (length×I. D.×film thickness);气相色谱型号为 Agilent 6890N,色谱柱 DB5 50 m×0.32 mm×0.25 μm .

烷烃分析升温程序如下:

60 °C (2 min) $\xrightarrow{7\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}}$ 200 °C $\xrightarrow{3\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}}$ 280 °C (30 min)

醇类在色质联用和气相色谱上使用相同的升温程序:

60 °C (2 min) $\xrightarrow{10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}}$ 200 °C $\xrightarrow{3.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}}$
 280 °C (15 min) $\xrightarrow{1.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}}$ 300 °C (30 min)

酸类升温程序:

60 °C (2 min) $\xrightarrow{10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}}$ 150 °C $\xrightarrow{2.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}}$
 300 °C (30 min)

3 烃类

正构烷烃碳分子数分布范围具有自然的连续性,结构简单,这些分子中含有高键能的碳碳键,结构稳定,很大程度上保留了原有的结构特征及生物的遗存特征,在沉积物中可以指示陆源和海相来源^[15].四个地区的粪土沉积物显示出不同的特点(图2).

极地由于日照弱,温度低,有机质沉积后成岩作用缓慢,因而使有机物保存较好.南极阿德雷岛沉积物 Y2-1 的有机组分充分体现了这一特点.在 Y2-1 沉积物的烃类组分中,烷烃奇偶优势明显,主峰分布在 C₂₃, C₂₅ 和 C₂₇ 左右.烯烃含量很高,在 30 cm 及更深的层次, C_{25,1} 和 C_{27,1} 烯烃经常作为烃类的主峰出现, C_{25,1} 烯烃和 C₂₅ 烷烃的比值最高可达 12. 这说明其烃类组分保存完好,成岩作用缓慢.

北极斯瓦尔巴的鸟粪土沉积 YN 由于位于煤矿

附近,烃类奇偶优势不很明显,基线较高,包含不可分辨组分(UCM),姥鲛烷浓度很高,沉积物成熟度较高,说明生物标志物受到第三纪含煤地层的影响.

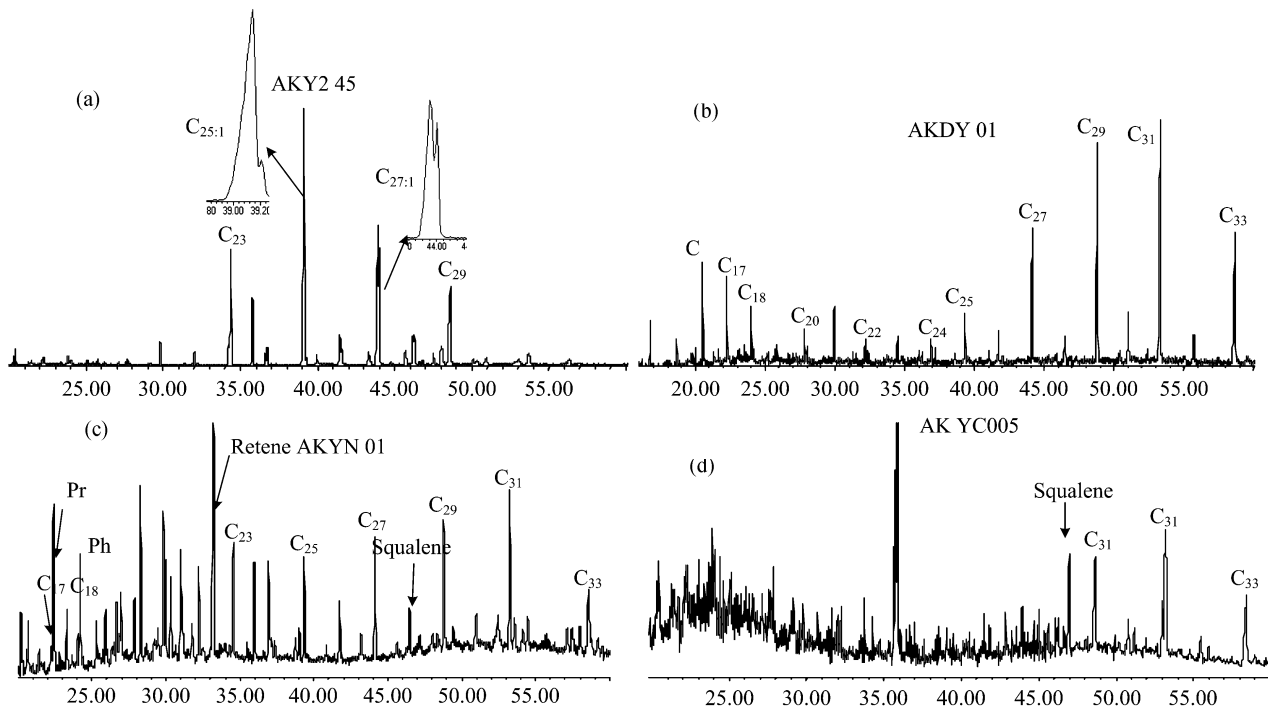
西沙沉积物 DY4 碳数自 16 分布至 33,奇偶优势十分明显,呈双峰分布,高碳数烃类输入为主,短链烃类有微弱的降解趋势,有偶碳优势,可能是 DY4 所在的牛塘水为淡化的海水所致.

尉迟寺的烃类组分中,降解趋势十分明显,短链烃类几乎无法分辨,最高碳数为 31,高碳数部分有奇偶优势.

在西沙和尉迟寺的沉积物中,我们都检测到了 5,5-二乙基烷烃系列^[16],在尉迟寺中的浓度高于在西沙的浓度.与两地沉积物中烃类的降解趋势结合起来,5,5-二乙基烷烃的丰度和烃类降解的强度一致;短链烃类降解强烈的尉迟寺古文化层中 5,5-二乙基烷烃浓度也高.

4 醇类

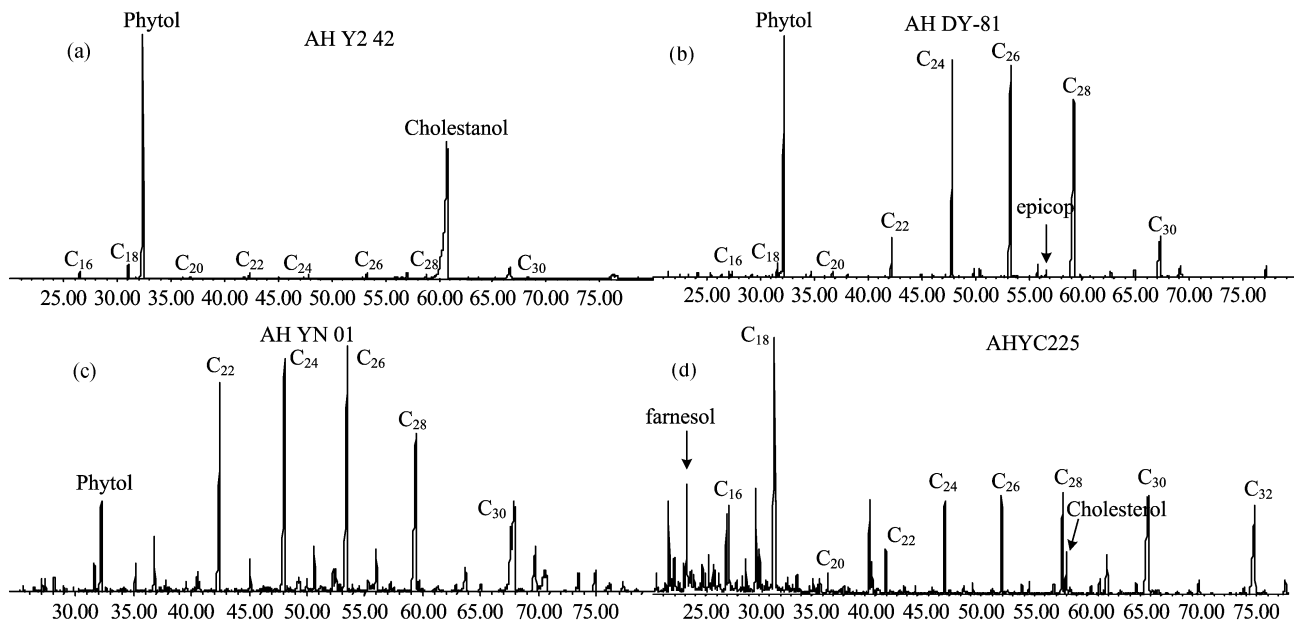
四个沉积物的醇类都受到生物来源影响,显示出明显的偶碳优势,聚居的动物种类不同造成粪便甾醇的不同,而各地的植被不同也导致烷醇的碳数分布不同,烷醇和粪甾醇的分布也因为动物对沉积物的影响强度有所区别(图3).



(a) 南极阿德雷岛沉积物 Y2-1; (b) 中国南海西沙沉积物 DY4; (c) 北极斯瓦尔巴沉积物 YN; (d) 中国安徽蒙城尉迟寺古文化层 YC

图2 四个区域烃类的分布特征

Fig. 2 Distributions of hydrocarbons of the four sediments



(a) 南极阿德雷岛沉积物 Y2-1; (b) 中国南海西沙沉积物 DY4; (c) 北极斯瓦尔巴沉积物 YN; (d) 中国安徽蒙城尉迟寺古文化层 YC

图 3 四个区域醇类的分布特征

Fig. 3 Distributions of alcohols of the four sediments

企鹅聚居地 Y2-1 的醇类组分以高浓度的植醇和粪便甾醇为主, 粪便甾醇以胆甾烷醇和胆甾醇为主, 浓度远高于烷醇, 它们的在沉积物中的深度曲线和生物标志物大体一致, 但又更为灵敏, 是很好的历史时期企鹅数量变化指标^[17]. 烷醇碳数分布自 14 至 30, 检测到两个烯键的醇类, 和烃类组分中高含量的烯烃同样说明当地沉积物中生物标志物成岩作用缓慢, 有机质保存良好.

北极海鸟聚居地的醇类以烷醇为主, 碳数分布自 14 至 32, 植醇和甾醇浓度都低于烷醇. 甾醇以谷甾醇 (sitosterol; 24-ethyl-5 α -cholest-22-en-3 β -ol) 为主, 并存在含量略低的谷甾烷醇 (sitostanol; 24-ethyl-5 α -cholestan-3 β -ol), 皆为 C₂₉ 甾醇. C₂₉ 甾醇通常被认为是高等陆地植物来源, 但是谷甾醇等也是鸡、鸭、鹅、喜鹊、鸚鵡、海鸟等禽类粪便的主要甾醇^[16]. 由于 YN 所处的海岸阶地是海鸟聚居地, 因此推断剖面沉积物中甾醇可能主要来自海鸟粪.

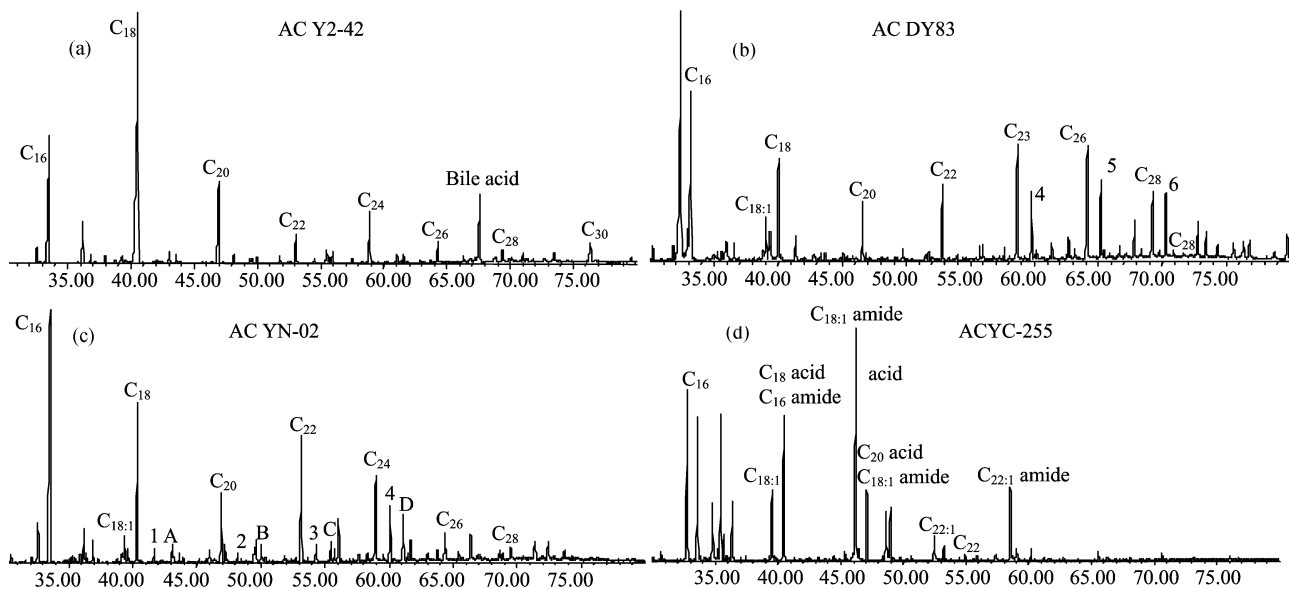
东岛 DY4 沉积物的烷醇碳数分布自 C₁₆ 至 C₃₂, 偶奇优势十分明显, 其中以 C₂₂, C₂₄, C₂₆ 和 C₂₈ 为主峰. 植醇也有检出, 浓度通常略低于烷醇. 东岛的沉积物中甾醇以异构粪甾醇浓度最高, 粪甾醇浓度低于异构粪甾醇, 根据粪便甾醇在各种动物粪便中的分布特征^[18~20], 我们推测异构粪甾醇当源于东岛海鸟类粪便的输入.

尉迟寺的醇类以偶碳数的脂肪醇为主, 碳数从 16 到 34, C₁₈ 醇为主要的醇类. 类异戊二烯醇中植醇浓度极低, 法呢醇浓度较高. 甾醇以胆甾醇为主, 在某些层位中检测到粪甾醇. 粪甾醇是人体内的胆甾醇由肠道细菌还原而来, 占人类粪便甾醇的 60% 左右. 在河口和沿海粪甾醇的浓度被用来指示人类活动的强度^[20,21], 在古希腊的下水道也检测到粪甾醇^[21], 因此粪甾醇在尉迟寺古文明遗址的检出是指示历史时期人类活动的证明.

5 酸类

南极样品中的脂肪酸碳数分布自 16 至 30, 以 C₁₈ 酸和 C₂₄ 酸双峰为主, C₁₈ 酸浓度可高达 500 $\mu\text{g/g}$, C₁₆ 酸浓度也达 150 $\mu\text{g/g}$ (图 4). 与其他南极湖泊不同, 不饱和脂肪酸 C_{16:1} 和 C_{18:1}, 浓度很低, C_{18:2} 在大多数层次中几乎检测不到. Y2-1 沉积物中也检测到胆甾酸, 但是胆甾酸未显示出和粪甾醇相似的深度曲线, 原因有待进一步研究.

北极 YN 剖面沉积物中的脂肪酸碳数分布自 14 至 28, 呈双峰分布. 前主峰为 C₁₆, 后主峰为 C₂₂ 或 C₂₄. 脂肪酸的分布具有强烈的偶奇优势. 我们在沉积物中还检测到少量的 β -羟基酸和 ω -羟基酸. β -羟基酸和 ω -羟基酸的碳数自 C₁₆ 至 C₂₂, 偶奇优势明显. 较长链 (C > 20) 的羟基酸在高等植物木质部分



(a) 南极阿德雷岛沉积物 Y2-1; (b) 中国南海西沙沉积物 DY4; (c) 北极斯瓦尔巴沉积物 YN; (d) 中国安徽蒙城尉迟寺古文化层 YC
1, 2, 3, 4, 5, 6: ω -羟基酸(C_{16} - C_{26}); A, B, C, D- β -羟基酸(C_{16} - C_{22})

图 4 四个区域酸类的分布特征

Fig. 4 Distributions of acids of the four sediments

的软木脂和角质中均有发现,短链 ω -羟基酸在裸子植物中亦存在^[22]. YN 剖面沉积物中羟基酸以 C_{22} 为主,应主要来源于陆源植物,如苔藓等.

东岛 DY4 的脂肪酸碳数分布广泛,自 C_{12} 至 C_{30} ,奇偶优势明显.脂肪酸基本呈双峰分布,分别以 C_{16} , C_{18} , 和 C_{22} , C_{24} , C_{26} 为主峰.在 DY4 的 01~08 cm, C_{16} , C_{18} 脂肪酸为脂肪酸主峰, C_{18} 不饱和酸: $C_{18:1}$, $C_{18:2}$ 的浓度甚至高于 C_{18} 饱和酸.说明 DY4 表层沉积物主要来源于低等植物,藻类来源,并且后期成岩微弱.与北极的 YN 相比, DY4 的 ω -羟基酸浓度高,碳数分布也更高,显示其更为高等的植物来源.

尉迟寺的酸类以正 C_{16} , C_{18} 酸为主, C_{20} , C_{22} , C_{24} 脂肪酸浓度很低,应是低等生物来源为主,而高等植被不繁茂.不饱和酸以 $C_{18:1}$ 为主,也有 $C_{18:2}$ 酸.在尉迟寺堆积的部分层位中也发现有胆甾酸,和粪甾醇的检出一样,胆甾酸也是历史时期当地人类活动存在的证明.

脂肪酸比值 $C_{18:2}/C_{18}$ 升高,指示古气温降低^[13],尉迟寺的 $C_{18:2}/C_{18}$ 两度升高的时期与当地大汶口文化和龙山文化的消亡时间吻合,再次有力佐证了气候变化是影响人类农耕文明兴衰的主要原因.

6 烷基酰胺

我们在尉迟寺古文化层中检测到和脂肪酸浓度相当的新的含 N 生物标志物——烷基酰胺.其碳数自 C_{16} 分布至 C_{22} ,偶碳优势明显, $C_{18:1}$, $C_{22:1}$ 不饱和烷基酰胺的浓度通常高于相应的饱和酰胺.尉迟寺古文化层的烷基酰胺随深度的变化和古温度指标 $C_{18:2}/C_{18}$ 有很好的响应,因此它很可能成为优良的古温度指标.

在其他沉积物或生物粪便中,也有可能存在烷基酰胺.例如在新鲜企鹅粪的酸性组分中,尽管脂肪酸浓度很高,我们还是检测到低浓度的烷基酰胺,在新鲜的红脚鲹鸟的粪便中也有烷基酰胺特征离子 116 Da 的检出.

在企鹅粪土沉积物剖面和中国南海西沙东岛海鸟粪土沉积剖面的 TOC 较低的层位($<1\%$),脂肪酸浓度较低,有低浓度的烷基酰胺.在北极斯瓦尔巴地区海鸟粪土沉积剖面较深的层位,TOC 普遍较低($<1\%$)也可检测到完整的烷基酰胺系列.但与尉迟寺遗址所检测到的烷基酰胺相比,其浓度远低于相应的脂肪酸.

总的来说,在粪土沉积物中可能都有烷基酰胺的存在,但是 TOC 较低,或者是脂肪酸浓度较低的沉积物中,烷基酰胺更易检出,对烷基酰胺的性质仍

有很多不确定和未解之处,我们将在今后的工作中继续研究其性质,并探讨它对历史时期海鸟数量或气候变化的响应。

7 结论

南极和西沙两地较为密集鸟类聚居地,TOC 较高,粪便甾醇可用以指示鸟类数量变化。南极 Y2-1 沉积物的显著特点是烃类和醇类组分烯键多,浓度高,有机质保存良好,受企鹅粪强烈影响粪便甾醇浓度很高,企鹅数量对植被有非常直接而明显的影响。在南海西沙的东岛上,各种植被繁茂,成为有机质重要来源,粪便甾醇浓度低于烷醇;影响鸟类生活的因素除了气候变化外,其栖息的高等植物,树木的数量也可以影响海鸟数量。这两地的粪便甾醇和烷醇的相对浓度体现了其当地鸟类和植被输入比例的不同。

北极和淮河两地沉积物为动物和其他生物影响相对较小的沉积物,TOC 较低,粪便甾醇浓度也较低。北极的海鸟和南极企鹅一样,周围都是低等植物,影响其数量的主要原因是气候变化;对于人类活动区域尉迟寺古文化遗址,气候影响也是影响农耕文明时期人类活动的主要因素,是导致人类文明兴衰的主要原因。在这两地的酸性组分中都发现了新的生物标志物——烷基酰胺,很有可能成为较好的生物活动或古温度指示剂。

粪土沉积物中的生物标型元素组合为生物标志物,尤其是粪甾醇的稳定性和可靠性提供了保障,而粪便甾醇也为生物标型元素提供了生物来源强有力的证据。粪甾醇和烷醇的浓度显示了鸟类和植被对有机质的贡献差异,也给研究者提供了研究地史时期鸟类和植被相互影响,相互依存关系的机会;在古生态研究方面,生物标志物相对生物标型元素组合可以提供更为全面的信息。对粪土沉积层生物标志物的研究,完善了我们对粪土沉积层性质的了解,加深了我们对这四个区域生态和环境演变过程的理解,使得我们可以更好地研究古生态演变和古环境变化之间的响应。

致谢 工作中得到国家海洋局海洋-大气化学与全球变化重点实验室陈立奇研究员的大力关心和支持;有机化学实验部分在中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室完成,研究工作受到盛国英、贾国东、麦碧娟、张干等研究员的

热情指导和支持;野外考察得到国家海洋局极地考察办公室的支持,在此谨向他们表示衷心的感谢。

参考文献(References)

- [1] Sun L G, Xie Z Q, Liu X D, et al. Geo-ecology of Ice-Free Zone in Antarctica [M]. Beijing: Science Press, 2006.
孙立广,谢周清,刘晓东,等. 南极无冰区生态地质学[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [2] Sun L G, Xie Z Q, Zhao J L. A 3000-year record of penguin populations [J]. Nature, 2000, 407:858.
- [3] Sun L G, Zhu R B, Liu X D, et al. HCl-soluble $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio in sediments impacted by penguin or seal excreta as a proxy for historical population size in the maritime Antarctic [J]. Mar Ecol Prog Ser, 2005, 303: 43-50.
- [4] Liu X D, Li H C, Sun L G, et al. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in the ornithogenic sediments from the Antarctic maritime as palaeoecological proxies during the past 2000 yr [J]. Earth Planet Sc Lett, 2006, 243(3-4):424-438.
- [5] Xiao X, Yin X B, Lin H, et al. Chitinase genes in lake sediments of Ardley Island, Antarctica [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2005, 71(12):7 904-7 909.
- [6] Sun L G, Liu X D, Yin X B, et al. A 1 500-year record of Antarctic seal populations in response to climate change [J]. Polar Biol, 2004, 27:495-501.
- [7] Yuan Lin-xi. Historic record of ecology and environment and modern contamination in NY-Alesund in Arctic [D]. Hefei: University of Science and technology of China, 2005.
袁林喜. 北极 NY-Alesund 生态环境历史记录与现代污染梯度研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2005.
- [8] XIA Chong-huan, XIE Zhou-qing. Environmental change in Ny-Alesund, Arctic as recorded in lake sediments[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2007, 37(8):1 003-1 008.
夏重欢,谢周清. 北极新奥尔松地区环境演变的沉积记录[J]. 中国科学技术大学学报, 2007, 37(8):1 003-1 008.
- [9] Zhao San-ping. Evolution of the ecosystem in Xisha archipelago, South China Sea [D]. Hefei: University of Science and technology of China, 2006.
赵三平. 南海西沙群岛海鸟生态环境演变[D]. 合肥:中国科学技术大学,2006.
- [10] Liu X D, Zhao S P, Sun L G, et al. Geochemical evidence for the variation of historical seabird population on the Dongdao Island of South China Sea [J]. Journal of Paleolimnology, 2006, 36:259-279.

- [11] XU Li-bin, SUN Li-guang, ZHANG Zhi-hui, et al. Geochemical research on prehistorical culture of Yuchisi Site in Mengcheng [J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2007, 37(8): 1 022-1 030.
徐利斌, 孙立广, 张志辉, 等. 蒙城尉迟寺文化层的地质地球化学研究[J]. 中国科学技术大学学报, 2007, 37(8): 1 022-1 030.
- [12] Sun L G, Yin X B, Liu X D, et al. A 2 000-year record of mercury and ancient civilizations in Antarctic seal hairs [J]. The Science of the Total Environment, 2006, 368(1): 236-247.
- [13] LIU Xiao-dong, SUN Li-guang, WANG Jian-jun, et al. Eco-environment response to climate changes on Dongdao Island of South China Sea over the past 1 300 years [J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2007, 37(8): 1 009-1 016.
刘晓东, 孙立广, 汪建君, 等. 过去 1 300 年南海东岛生态环境对气候变化的响应[J]. 中国科学技术大学学报, 2007, 37(8): 1 009-1 016.
- [14] XIE Zhou-qing. The catchment sediment on Ardley Island Antarctica and evolution of the penguin ecosystem [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2001.
谢周清. 南极阿德雷岛地区湖泊沉积与企鹅生态环境演变[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2001.
- [15] Meyers P A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: A summary of examples from the Laurentian Great Lakes [J]. Organic Geochemistry, 2003, 34(2): 261-289.
- [16] Greenwood P F, Arouri K R, Logan G A, et al. Abundance and geochemical significance of C_{2n} dialkylalkanes and highly branched C_{3n} alkanes in diverse Meso- and Neoproterozoic sediments [J]. Organic Geochemistry, 2004, 35(3): 331-346.
- [17] WANG Jian-jun, SUN Li-guang, HU Jian-fang, et al. Molecular geochemistry of penguin Ornithogenic sediment from Ardley Island, West Antarctica [J]. Chinese Polar Research, 2006, 18(4): 245-253.
汪建君, 孙立广, 胡建芳, 等. 南极阿德雷岛企鹅粪土沉积物分子地球化学特征[J]. 极地研究, 2006, 18(4): 245-253.
- [18] Leeming R, Ball A, Ashbolt N, et al. Using faecal sterols from humans and animals to distinguish faecal pollution in receiving waters [J]. Water Res, 1996, 30: 2 893-2 900.
- [19] Murtaugh J J, Bunch R L. Sterols as a measure of fecal pollution [J]. Journal of Water Pollution Control, 1967, 39: 404-409.
- [20] Bull I D, Lockheart M J, Elhmmali M M, et al. The origin of faeces by means of biomarker detection [J]. Environment International, 2002, 27: 647-654.
- [21] Bull I D, Elhmmali M M, Roberts D J, et al. The application of steroidal biomarkers to track the abandonment of a Roman wastewater course at the Agora (Athens, Greece) [J]. Archaeometry, 2003, 45: 149-161.
- [22] ZHANG Gan, SHENG Guo-ying, FU Jia-mo. Occurrence and distribution of hydroxy acids and α , ω -dicarboxyl acids in the core sediments from Gucheng Lake, eastern China and their geochemical significance [J]. Geochimica, 1999, 28(2): 183-190.
张干, 盛国英, 傅家谟. 固城湖沉积物中羧基酸和 α , ω -二元酸的组成分布及其地球化学意义[J]. 地球化学, 1999, 28(2): 183-190.