

青海小柴旦盐湖沉积物的地球化学 初步研究*

贾蓉芬 傅家谟 徐芬芳 范善发

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)

孙 大 鹏

(中国科学院青海盐湖研究所, 西宁)

G. 埃格林顿

(英国布里斯托尔大学)

提要 本文采用地球化学与有机地球化学方法详细研究了小柴旦盐湖沉积物。结果表明, 该沉积物的矿物组成与化学组成非常类似于中国东部第三纪盐湖沉积物(如江汉和东濮油田的生油岩), 而区别于淡水湖相沉积物(如茂名和抚顺油页岩)。分析鉴定了盐湖沉积物的氨基酸、脂肪酸和烷烃组成。脂肪酸与烷烃的分布特征表明, 生物输入以陆源植物为主, 与其孢子、花粉组成的鉴定结果相符。

为了解干旱地区沉积物地球化学与有机地球化学特征, 1982年8月10日至18日中国科学院地球化学研究所、盐湖研究所、兰州地质研究所及英国布里斯托尔大学联合考察了青海达布逊湖、小柴旦湖及大柴旦热泉沟, 并对所采集的小柴旦盐湖沉积物、热泉藻作了地球化学及有机地球化学研究。

有关热泉藻的研究将另文发表, 本文仅报道小柴旦盐湖沉积物的地球化学与有机地球化学的初步研究。

一、样品的采集与保存

样品采自小柴旦湖南岸硼矿坑内。矿坑深7m, 坑内水由抽水机抽干。矿坑内所见岩层及取样位置见图1。

矿坑内自上而下的岩层顺序为(1)硼矿的湖面露头, 一般2—3m厚, 现已开采完;(2)黑色亚粘土, 含粉砂, 具硫化氢味, 风干后为黄绿色;(3)薄层状黄绿色粉砂透镜体;(4)黑色亚粘土, 夹有不规则白色条带状硼矿。(2)和(4)层的黑色亚粘土总厚3—6m;(5)砂岩层, 约40cm厚;(6)硼矿层大于2m, 目前正在开采。黑色亚粘土及硼矿中均偶夹长20—30cm的树干和树枝。

* 本次考察得到中国科学院青海盐湖研究所张彭熹、陈克造同志的大力支持与指导, 该所外事组及车队的同志亦给予热情地帮助, 在此致以衷心的感谢, 并对参加本项分析的全体同志也表示致谢!

参加工作的尚有彭平安、闵育顺、阎佐鹏、林绍孟、董继和。

收稿日期: 1984年10月9日。

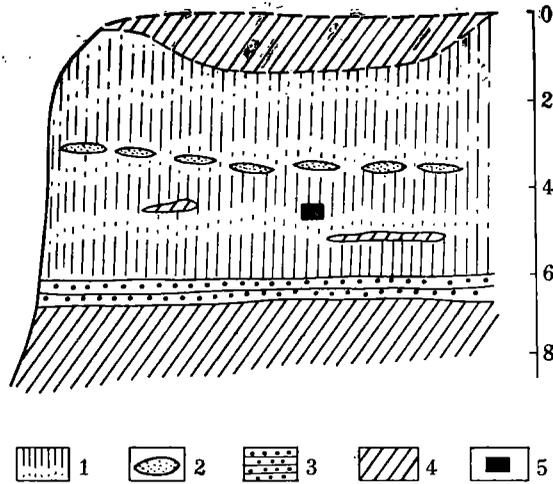


图 1 小柴且盐湖南岸硼矿坑岩层示意图(单位: m)

1. 亚粘土; 2. 粉砂透镜体; 3. 细砂层; 4. 硼矿; 5. 取样点

所采集的黑色泥样用铝盒封装后立即冰冻保存。

二、实验方法

样品分析项目有: 化学全分析、全岩粉末样的矿物 X 衍射、粘土矿物的 X 衍射及电镜分析、孢粉的分析与鉴定、有机质的氨基酸、烷烃、脂肪酸、有机碳等分析¹⁾。

样品的化学全分析、矿物 X 衍射分析、孢粉分离与鉴定、有机碳测定等均按常规分析法, 在此不再赘述。

1. 氨基酸的分析

将黑色粘土 185g (干重) 用 6mol/L 重蒸盐酸于 100—110°C 回流水解 24 小时, 然后用离心机分离, 弃残渣, 再将水解液中的过量盐酸置旋转蒸发器内除掉, 通过 Dowex-50 离子交换树脂柱脱盐。脱盐后用 2mol/L 氢氧化铵冲洗离子交换柱, 冲洗液置旋转蒸发器内除氨。最后用二次蒸馏水定容。使用日本日立 835 型氨基酸自动分析仪定量^[1]。

2. 脂肪酸的分析

将冰冻的湿样 100g, 依次各用 200ml 的甲醇、甲醇/二氯甲烷 (3/7)、甲醇/二氯甲烷 (1/4) 及二氯甲烷分别进行超声抽提, 把各次经离心分离后的抽提液集中起来, 移入分液漏斗, 加水或二氯甲烷使混合溶液分成二氯甲烷层和水/甲醇层。收集二氯甲烷层, 用 0.5mol/L KOH 水溶液进行皂化, 已皂化的水溶液部分用盐酸酸化, 然后用二氯甲烷萃取脂肪酸, 再与 14% 浓度的三氟化硼反应制备成脂肪酸甲酯, 用 Finnigan-Mat 4515 型 GC-MS-C 进行鉴定。

3. 烷烃的分析

上述脂肪酸分离时未皂化的部分用二氯甲烷萃取, 除去溶剂后得到的馏分用二氯甲

1) 化学全分析由中国科学院地球化学研究所彭强松完成, 粘土矿物的 X 衍射由邓秉钧完成, 有机碳由李承书测定, 烷烃及脂肪酸的 GC-MS-C 由项志鹏等同志完成。

烷: 正己烷(1:1)作展开剂, 经薄层分离, 产生 5 个色带, 取最大 R_f 值(0.85)的烷烃作 GC-MS-C 分析鉴定。

三、结果与讨论

(一) 小柴旦盐湖沉积物的化学成分与矿物组成特征

1. 化学成分特征

由表 1 可见, 小柴旦盐湖泥较类似于第三纪盐湖沉积(如江汉油浸泥岩), 均以高 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , 低 Fe^{2+} , Al^{3+} 而区别于我国东部淡水湖相的抚顺、茂名油页岩。

表 1 小柴旦盐湖泥的化学成分

样品	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	P ₂ O ₅	挥发分	合计
小柴旦盐湖泥	46.66	0.59	12.02	2.12	1.97	0.07	3.42	10.63	3.96	2.69	3.26	2.82	0.15	10.00	100.36
江汉油浸泥岩	36.71	0.57	11.73	1.33	2.67	0.06	3.28	4.42	4.05	4.03	5.57	4.68	0.08	20.50	99.68
抚顺油页岩	52.00	1.10	17.00	0.63	7.99	0.13	0.98	0.82	0.55	0.83	4.82	2.31	0.03	11.25	100.44
茂名 M ₂ 油页岩	36.90	0.76	21.50	0.49	8.35	0.25	1.00	0.50	0.65	1.67	6.49	3.37	0.08	17.57	99.58

2. 矿物组成特征

根据全岩粉末样品的 X 衍射分析, 其主要矿物组成为石英、方解石、长石类、伊利石(云母类)、石盐、白云石、绿泥石、石膏、闪石类等, 与一般泥质沉积物相比, 小柴旦盐湖沉积物富含方解石、白云石、石盐、石膏等盐类矿物, 具有典型的干旱盐湖沉积的矿物组成特征。

3. 粘土矿物特征

小柴旦盐湖泥的粘土矿物中约有 84% 的伊利石、8% 绿泥石、7% 蒙脱石及 1% 蒙脱石-绿泥石混合层矿物。它以贫混合层矿物、贫高岭石区别于抚顺及茂名的淡水湖相油页岩, 以富含伊利石而类似于江汉盐湖相油浸泥岩。

在电子显微镜下, 小柴旦盐湖泥和江汉油浸泥岩的粘土矿物呈现大小不等的他形-半自形颗粒, 变化于 2—0.2 μ m 之间, 有的甚至大于 2 μ m, 茂名和抚顺油页岩中的粘土矿物多呈半自形及他形, 粒度相对均匀且偏小, 多在 1—0.2 μ m 之间(图版 I)。

由图 2 可见, 小柴旦盐湖泥和江汉油浸泥岩粘土矿物的平均粒度为 0.5 μ m 左右, 粒度的标准偏差在 0.4 以上; 两个油页岩粘土矿物的平均粒度为 0.3 μ m 左右, 粒度的标准偏差为 0.2 左右。

上述四个粘土矿物的特征也表明了它们的沉积环境和沉积方式的差异。抚顺和茂名油页岩形成于温暖湿润气候的淡水盆地, 以高岭石矿物占优势, 水体性质有利于粘土矿物以悬浮液形式进行充分地搬运和分选, 使粒度趋于均匀化, 以致粒度偏差值小。小柴旦及江汉油浸泥岩是在咸水或半咸水盆地中沉积的, 粘土悬浮液进入咸水介质后迅速絮凝, 使大小不同的颗粒混杂在一起, 聚集沉淀, 致使粒度不均一, 偏差值较大。沉积物中以伊利石矿物占优势, 这也是干旱气候条件下的粘土矿物组合的特征。

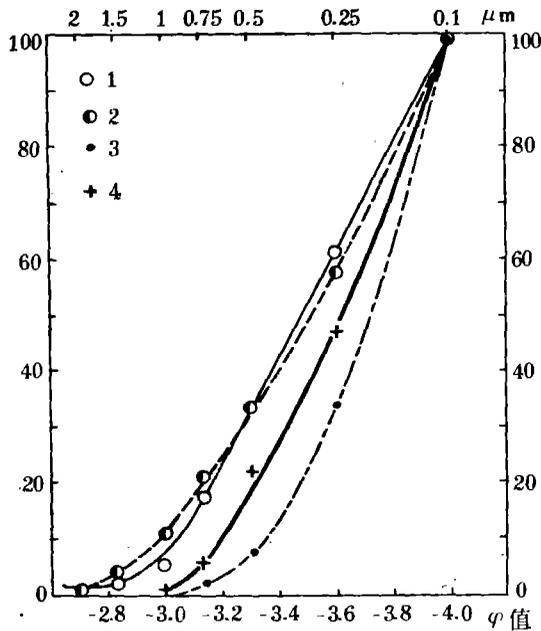


图2 粘土矿物粒度分布的累积曲线
(根据电镜照片测得)

1. 小柴旦盐湖泥; 2. 江汉油浸泥岩; 3. 茂名油页岩; 4. 抚顺油页岩

(二) 小柴旦盐湖沉积物孢粉特征

对小柴旦硼矿坑盐湖沉积物进行了孢粉分析。据镜下观察两片薄片(20×20mm²)的1053粒孢粉统计结果,它们分属20个科、属,其中小灌木及草本植物花粉占绝对优势,达94.4%,以 Ephedraceae, Chenopodiaceae, *Artemisia* 最多, Cramineae, Humulus, Compositae, Cruciferae 及 Zygophyllaceae 次之,还见有少量 Sparganiaceae, Cyperus; 木本植物花粉占5.2%,以 *Pinus* 为主, *Picea*、*Abies*、*Quercus* 次之,同时还有少量的 *Tsuga*、*Betula*,

表2 孢粉统计表

木本植物(粒)	灌木及草本植物 (粒)	蕨类孢子 (粒)
松 属 <i>Pinus</i> 34	麻 黄 Ephedraceae 477	水龙骨科 Polypodiaceae 3
云杉属 <i>Picea</i> 8	藜 科 Chenopodiaceae 346	木沙椴科 Cyatheaceae 1
冷杉属 <i>Abies</i> 1	蒿 属 <i>Artemisia</i> 115	
铁杉属 <i>Tsuga</i> 1	禾本科 Gramineae 22	
栎 属 <i>Quercus</i> 7	菊 科 Compositae 7	
栗 属 <i>Castanea</i> 2	葎草科 Humulus 9	
桦 属 <i>Betula</i> 2	白 刺 <i>Nitraria</i> 7	
	十字花科 Cruciferae 8	
	莎草科 Cyperus 1	
	黑三棱科 Sparganiaceae 1	
	蒺藜科 Zygophyllaceae 1	
总计 55 粒占 5.2%	994 粒占 94.4%	4 粒占 0.4%

Castanea; 蕨类孢子数量少, 仅占 0.4%, 主要是 *Cyatheaceae* 及 *Polypodiaceae* (见表 2)。

小柴旦盐湖地区孢粉颇为丰富, 但品种单调, 主要由麻黄科、藜科、蒿属、禾木科、菊科、蒺藜科等组成草类盐生灌木或半灌木; 其次是松、云杉、桦、栎、铁杉和栗等组成稀疏的针叶、阔叶混交林。显示出小柴旦盆地植被除少量温带落叶阔叶林以外, 还广泛分布着大量的旱生、盐生的草木和矮半灌木, 尤其是旱生的麻黄、藜科为多, 表明该地区已开始转向干旱, 形成了森林草原景观、湖泊面积开始收缩, 并出现了现今的盐湖。

小柴旦盐湖沉积物孢粉分析结果与前人所作的青海柴达木盆地的孢粉结果极为一致^[2]。

(三) 小柴旦盐湖沉积物中某些有机物分子的特征

小柴旦沉积物中有机碳含量为 0.51%。我国东部淡水湖泊相生油岩及油页岩的有机碳含量较高, 如茂名油页岩 $C_{\text{有机}}$ 达 11.08%¹⁾, 抚顺油页岩 $C_{\text{有机}}$ 达 18.21%¹⁾, 大庆白垩纪生油岩 $C_{\text{有机}}$ 达 7.714%²⁾, 可见小柴旦沉积物中 $C_{\text{有机}}$ 含量不算高, 却类似于江汉、东濮等膏盐沉积物¹⁾, 后者 $C_{\text{有机}}$ 分别为 0.58% 和 0.51%。

可溶有机物中, 我们分析了氨基酸、烷烃及脂肪酸等有机化合物。

1. 氨基酸的分布特征

地质体中氨基酸以两种形式存在, 一种是游离的, 一种是结合的, 所谓结合的是指经

表 3 蛋白氨基酸总量 ($\mu\text{g/g}$) 及其重量百分比 (%)

编号样品	1. 小柴旦沉积物	2. 新疆油页岩 (P_1^1)	3. 抚顺镜煤 (E)
天门冬氨酸	8.18	痕量	9.03
苏氨酸	6.97	6.60	6.17
丝氨酸	3.93	16.92	10.70
谷氨酸	12.12	—	14.47
甘氨酸	10.0	9.51	17.72
丙氨酸	11.82	8.40	11.14
胱氨酸	—	—	1.91
缬氨酸	7.58	7.17	7.28
甲硫氨酸(蛋氨酸)	0.30	9.07	3.43
异亮氨酸	6.67	2.28	3.77
亮氨酸	9.09	10.69	4.82
酪氨酸	1.52	4.09	—
苯丙氨酸	2.73	5.91	3.14
赖氨酸	4.54	6.86	5.08
组氨酸	0.60	3.58	0.78
精氨酸	—	1.14	0.69
羟脯氨酸	1.20	—	—
脯氨酸	6.06	5.07	—
氨基酸总量 ($\mu\text{g/g}$)	0.33	6.37	1.14

注: 1 号样为四川省原子核应用技术研究所用日立 835 型氨基酸自动分析仪鉴定及定量; 2, 3 号样为中国科学院成都分院生物研究所用日立 835 型氨基酸自动分析仪鉴定及定量。

1) 黄第藩等, 1983. 高蜡原油的成因研究。

2) 杨万里等, 1982. 陆相油气形成与演化论文集。

水解后才能释放出来的那些氨基酸。地质体中大部分是结合的氨基酸。本研究中所鉴定的是两种氨基酸的总合。

氨基酸自动分析仪只能鉴定蛋白氨基酸(地质体中主要是蛋白氨基酸),故本文将不讨论非蛋白氨基酸(包括对映体的分离和鉴定)。

小柴旦沉积物蛋白氨基酸的总量及其重量百分比见表3,其总量为 $0.33\mu\text{g/g}$,明显低于新疆妖魔山油页岩(P_2)($6.37\mu\text{g/g}$)和抚顺镜煤(E)($1.33\mu\text{g/g}$),它们的个别氨基酸分布高峰也不一致,小柴旦沉积物中氨基酸高峰为谷氨酸与丙氨酸,约各占13%,新疆油页岩以丝氨酸为主(19.62%),亮氨酸次之(10.69%),抚顺镜煤却以甘氨酸为主(17.72%),谷氨酸次之(14.47%)。小柴旦沉积物未鉴别出精氨酸,而以羟脯氨酸区别于其它两个岩样。

通常按照氨基酸分子含有氨基和羧基的数目把氨基酸划分为三类:中性氨基酸(氨基与羧基数目相等),酸性氨基酸(氨基少于羧基),碱性氨基酸(氨基多于羧基)。一般认为酸性氨基酸存在于碱性环境,反之碱性氨基酸存在于酸性环境,故分析氨基酸类型可以大致了解样品所处的介质环境^[7]。

表4 氨基酸类型

样 品	酸性* %	中性 %	碱性 %
小柴旦沉积物	21.76	72.72	5.52
新疆油页岩	痕量	88.42	11.58
抚顺镜煤	23.50	69.95	6.55
现代海洋沉积物**	2.69	52.6	44.7

* 酸性氨基酸:天门冬氨酸,谷氨酸;碱性氨基酸:赖氨酸,组氨酸和精氨酸;余者为中性氨基酸。

** 标本系非洲西北大陆斜坡现代沉积三个样品的平均量。

表4所列出的四个样品虽然都以中性氨基酸为主,但从氨基酸类型分布看来,小柴旦沉积物与抚顺镜煤极类似,酸性氨基酸为21.76—23.50%,碱性氨基酸为5.52—6.55%,而与现代海洋大陆斜坡沉积物则有明显区别^[3],后者以低酸性(2.69%)、高碱性(44.7%)氨基酸形式存在,这也许可视为海相与陆相沉积物中氨基酸的分布特征之一。

2. 脂肪酸的分布特征

已制备好的脂肪酸甲酯经GC-MS分析鉴定,用M/Z 74获得正构一元脂肪酸甲酯的质量色谱图。由分子离子峰(270 + n14)和碎片峰(74, 87, 143等)鉴定出 $n\text{C}_{16:0}$ — $n\text{C}_{32:0}$ 一元脂肪酸系列物。它略显双组峰分布,低碳数范围($n\text{C}_{16:0}$ — $n\text{C}_{20:0}$)内以 $n\text{C}_{16:0}$ 为主峰,高碳数范围($n\text{C}_{22:0}$ — $n\text{C}_{32:0}$)以 $n\text{C}_{24:0}$ 为主,后组峰明显高于前组峰。

由M/Z 98获得正构二元脂肪酸甲酯的质量色谱图,由分子离子峰($342 \pm n14$)和碎片峰CM/Z 98, 112, 154等)鉴定为 $\alpha \cdot \omega$ - $n\text{C}_{18:0}$ — $n\text{C}_{24:0}$ 二元酸系列^[4]。

长链二元酸在自然界是稀有的,它可能主要由微生物氧化产生的。

与长江口8103沉积物^[6]对比,由图3可见,小柴旦盐湖沉积物脂肪酸有下列特征:

(1) 一元脂肪酸略显二组峰,前组峰低后组峰高;而8103的两组峰则前组峰高, $n\text{C}_{16:0}$ 及 $n\text{C}_{18:0}$ 明显高于其他。这反映了前者以陆源物为主,水生的菌、藻类很少,而后者水生、陆源物均很丰富,又以水生的菌、藻类占明显优势。

(2) 二元酸分布不如 8103 广泛, 仅有 $\alpha \cdot \omega$ - $nC_{18:0}$ — $nC_{24:0}$, (8103 二元酸的分布为 $\alpha \cdot \omega$ - nC_{16} — $nC_{32:0}$), 这可能与其较单一的母质来源有关。由于自然界中二元酸很少存在, 通常认为是微生物改造的结果^{5,6}。小柴旦盐湖沉积物中二元酸的有限分布也许更能说明

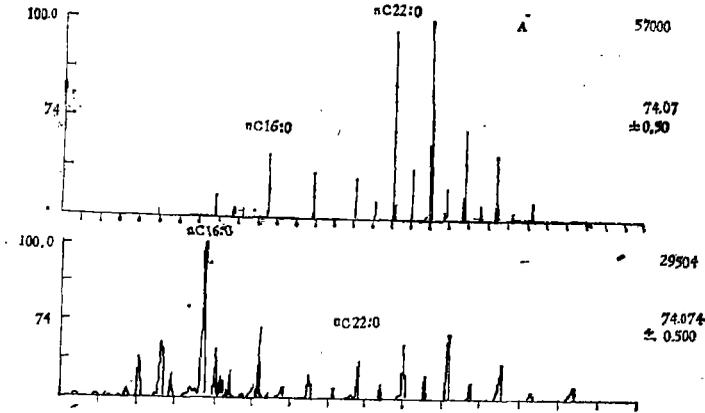


图 3 小柴旦和 8103 沉积物一元脂肪酸分布对比图 (下图为“B”)

A: 小柴旦一元脂肪酸; B: 8103 一元脂肪酸

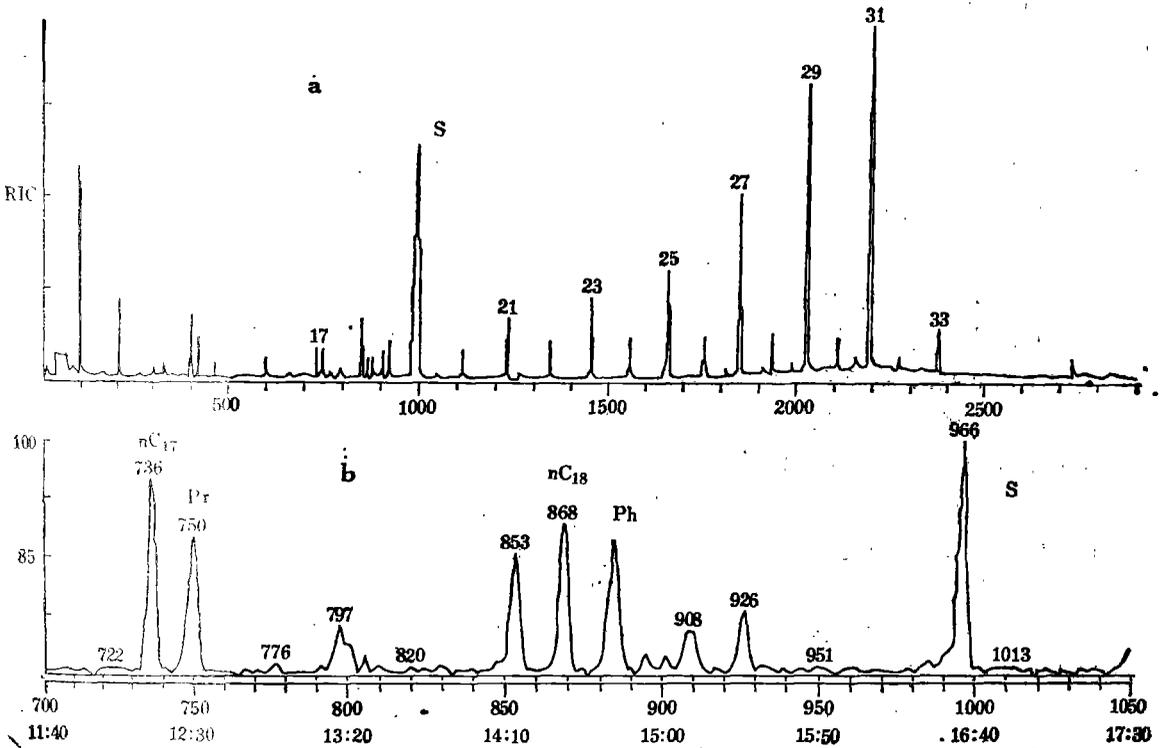


图 4 小柴旦盐湖沉积物 TLC-1 带质量色谱图

RIC: 重现离子色谱图; M/Z 85: 质量色谱图(正烷烃和非环类异戊二稀系列); Pr: 姥鲛烷; Ph: 植烷; S: 自然硫;
 nC_{18} : 正烷烃碳数; 扫描数 853, 908, 926: 植烯

这里的微生物作用不如长江口活跃。

3. 烃类分布特征

TLC-1 (薄层最上带, R_f 值为 0.85) 的烃类有机物经 GC-MS-C 分析, 初步发现:

(1) 用 M/Z 85 检测, 正构烷烃分布范围是 C_{12} — C_{32} , 以 C_{19} 为界分为两组峰, 前组峰较低, 以 C_{12} 为主峰, 奇偶优势不明显, 后组峰奇偶优势明显, 呈非正态分布, 以 C_{31} 为主峰, OEP 为 5.0 (图 4)。

(2) 分别用 M/Z 191, 217, 231 检测, 见有少量萜类、规则甾类和 4-甲基甾类化合物, 经质谱鉴定萜类化合物中以 C_{30} 藿烯为主。

(3) Pr (姥鲛烷)/ Ph (植烷) 为 0.89, 植烷略高。经质谱分析, 样品中已鉴定出 3 个植烯异构体, 它们的面积之和约为植烷的 1.8 倍。

(4) 样品在处理过程中已用汞脱硫, 经质谱鉴定, 在 TLC-1 带的 RIC 图谱上 nC_{19} 附近的强峰为硫化物, 反映样品中硫含量高。

小柴旦样品的正烷烃分布范围并不太宽, 后组峰高, 均表现为较单一的陆源输入物, 它的 $Pr < Ph$, 这与我国东部第三系膏盐沉积物的烷烃分布特征相类似。一般认为正烷烃的 OEP 值可反映有机质的成熟作用及岩样的成岩阶段, 当 OEP 接近 1 时, 岩样进入成岩后期, 稀烃消失, 烷烃为主, 此时石油生成达到高潮。小柴旦样品 OEP 为 5.0, 植烯及藜烯含量高, 表明它尚处于成岩早期阶段。

GC-MS-C 提供的信息还有很多, 小柴旦盐湖沉积物的脂肪酸及烃类部分将另文详细讨论。

四、结 束 语

小柴旦盐湖沉积物的化学、矿物、植被及有机分子特征为:

1. 高 K, Na, Ca, Mg; 低 Fe, Al。
2. 富含方解石、白云石、石盐、石膏等膏盐相矿物组合。
3. 粘土矿物中以伊利石为主, 贫混合层矿物, 分选性差。
4. 以喜盐的灌木草本植物(尤以麻黄、藜科)为多, 约占 94.4%, 木本植物占 5.2%, 蕨类孢子占 0.4%, 显示为森林草原景观。
5. 氨基酸总量较低, 个别氨基酸中以谷氨酸和丙氨酸的含量最高(各占 13%±), 酸性氨基酸较多(达 21.76%)。
6. 一元脂肪酸有两组峰, 后组峰明显高, 表示以陆生植物来源为主, 有限的二元酸分布 ($C_{18:0}$ — $C_{24:0}$), 揭示有菌类活动, 但微生物作用不活跃。
7. 正烷烃分布范围 C_{12} — C_{32} , 尚未发现大于 C_{31} 的萜类, 显示以非高等植物的陆源物输入为主; 植烯 > 植烷、藜烯及 4-甲基甾的存在以及正烷烃的 OEP 为 5 等均为成岩早期烃类有机物特征。

上述特征相互补充, 互相验证, 均属于高原干旱气候成岩早期地质样品的特征。它与其他地区地质样品的对比提示了一些有意义的问题, 如粘土矿物及有机分子的命运及其成岩演变, 以及与第三系陆相膏盐沉积物生油岩的某些类似特征等。这些问题的深入研究, 对于探讨我国西北高原干旱地区年轻沉积物的地球化学与有机地球化学问题以及膏

盐环境油气生成的特点等是很有益的。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院地球化学研究所有机地球化学与沉积学研究室编, 1982. 有机地球化学. 科学出版社, 143—147 页。
- [2] 杜乃秋、孔昭宸, 1983. 青海柴达木盆地察尔汉盐湖的孢粉组合及其地理和植物学意义. 植物学报 **25**(3): 275—282。
- [3] 胡成一、阎佐鹏, 1977. 氨基酸地球化学进展. 地质地球化学 **3**: 20—33。
- [4] 姜善春、傅家谟、林茂福等, 1983. 东海沉积物中脂肪酸分布特征. 地球化学 **3**: 285—293。
- [5] Douglas, A. G., K. Douraghi-Zaden, G. Eglinton et al, 1966. Fatty acid in sediments including the Green River shale (Eocene) and Scottish Torbanite (Carboniferous), *In Advances in Organic Geochemistry*. Pergamon Press, pp. 315—334.
- [6] Eglinton, G. and M. T. J. Murphy, 1969. *Organic Geochemistry: Methods and Results*. Springer, New York. pp. 133—136.
- [7] Morris, R. J., 1975. The Amino acid Composition of a deep-water marine sediment from the upwelling region northwest of Africa. *Geochim Cosmochim Acta* **39**(3): 381—387.

PRELIMINARY STUDY OF GEOCHEMISTRY OF XIAOCHAI DAN SALT LAKE SEDIMENTS, QINGHAI PROVINCE

Jia Rongfen, Fu Jiamo, Xu Fenfang, Fan Shanfa
(*Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guiyang*)

Sun Dapeng
(*Qinghai Institute of Salt Lake, Academia Sinica, Xining*)

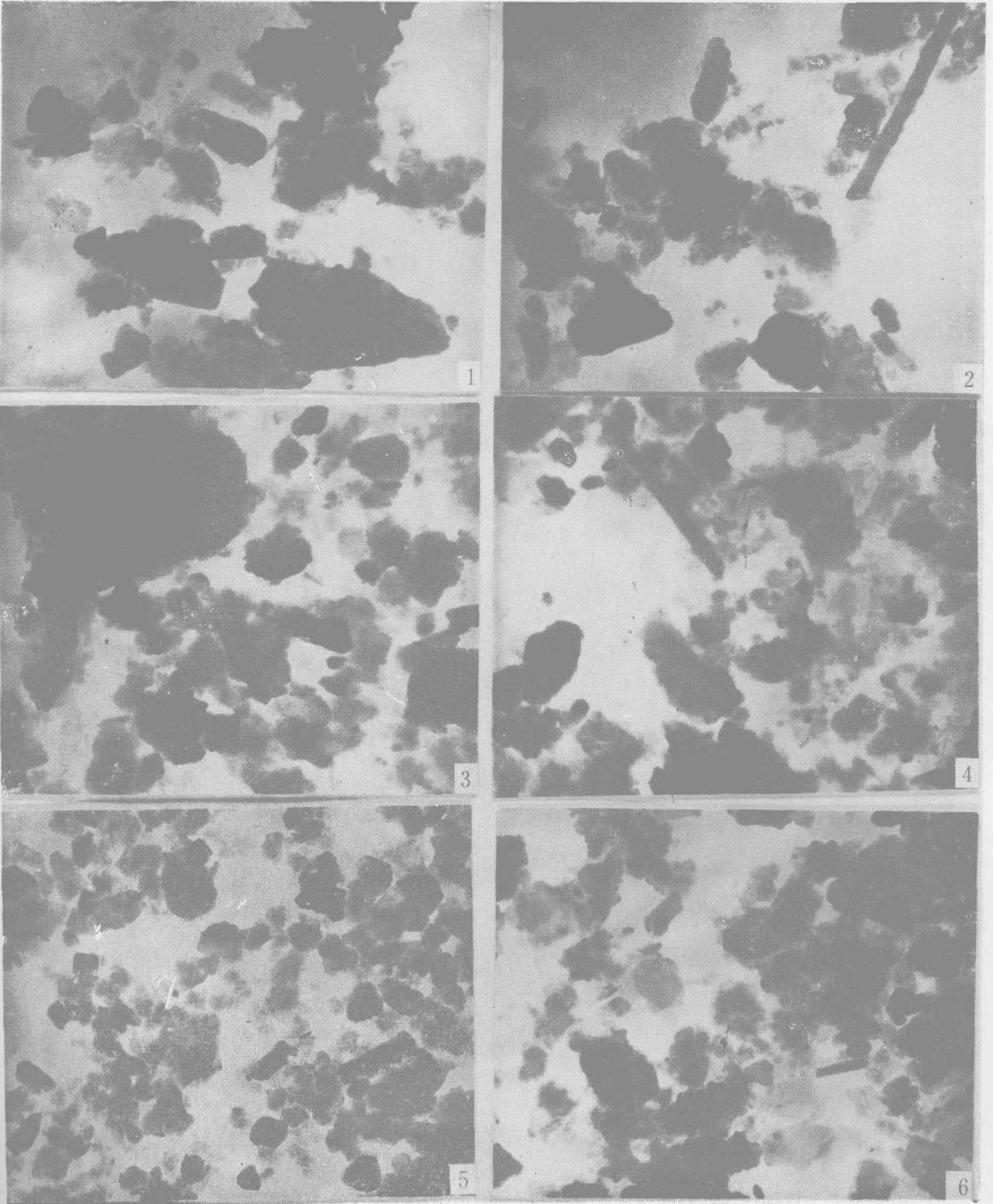
and

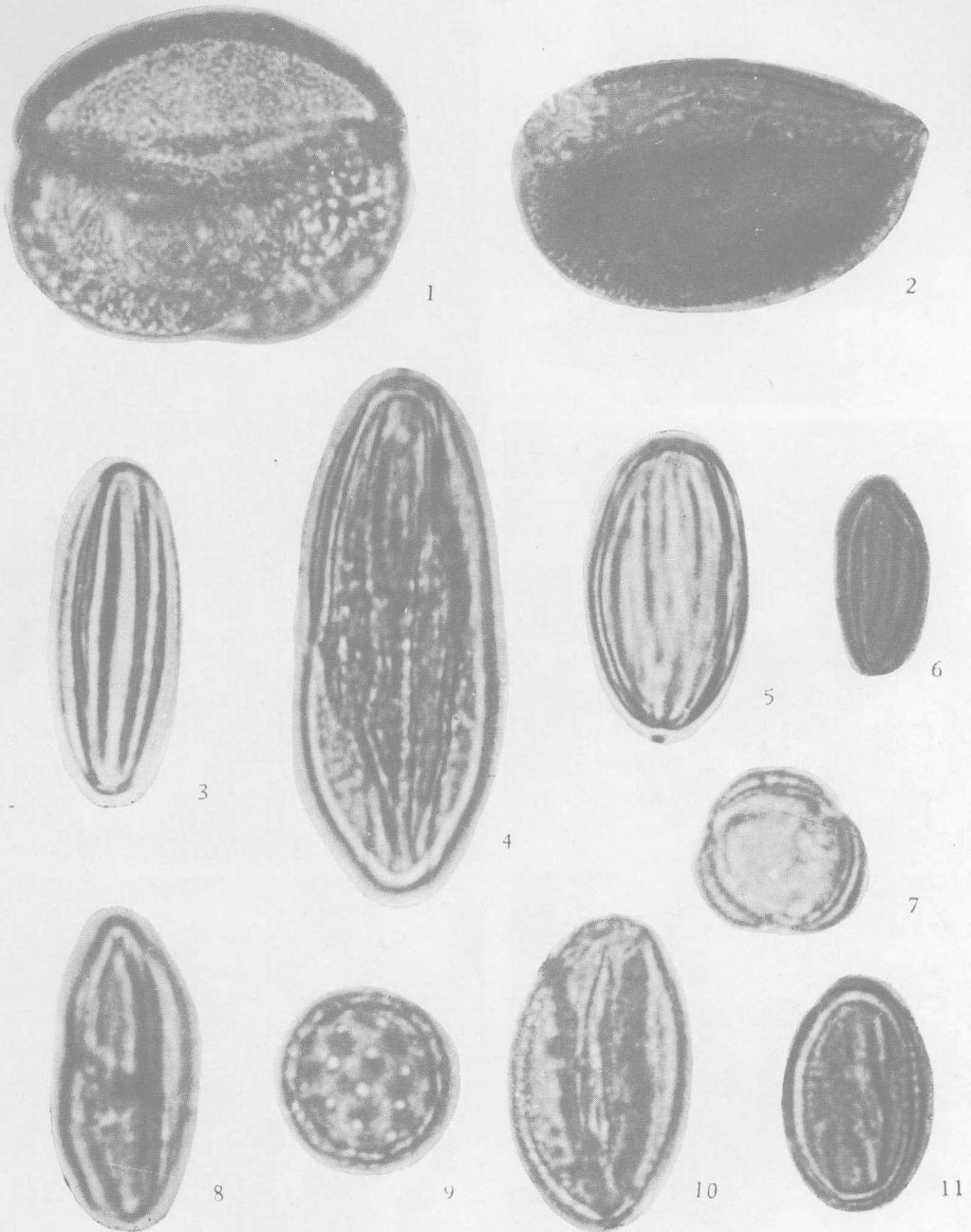
G. Eglinton
(*University of Bristol, England*)

ABSTRACT

Xiaochaidan salt lake sediments were studied in detail by means of geochemistry, especially organic geochemistry. The research results indicate that the sediment is rather quite similar to that of Tertiary salt lake source rocks in the Eastern China, such as Jiangnan oil field and Dongpu oil field, than that of fresh water sediments, such as Maoming oil shale and Fushun oil shale in terms of their chemical and mineral composition.

The composition of amino acids, fatty acids and aliphatic hydrocarbons were also analysed. The distribution patterns of the fatty acids and alkanes show that the organic inputs are predominated by terrestrial plants, which coincides well with the composition of spore and pollen and identified in sediments.





1. 松 *Pinus* sp.; 2. 云杉 *Picea* sp.; 3-6. 麻黄 *Ephedra* sp.; 7. 蒿 *Artemisia* sp.; 8. 白刺 *Nitraria* sp.; 9. 藜 *Chemopodium* sp.; 10-11 蓼 *Polygonaceae*