

黄海 SYDP103 孔黏土矿物组成及古气候意义

陈正新, 黄海燕, 李绍全, 曲高升, 刘新波

(青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 利用 1997 年国土资源部青岛海洋地质研究所和韩国资源研究所合作在南黄海东南侧泥质沉积区所取得的两个全取芯钻孔 (SYDP102, SYDP103) 资料, 对 SYDP103 孔黏土矿物进行了专门研究。结果表明, 该孔黏土矿物组合特征为伊利石-绿泥石-高岭石-蒙脱石型, 其物质来源于长江、周边陆源区及相邻海域细粒物质的再改造沉积。沉积区的涡旋作用是本研究区黏土矿物沉积的动力因素。该孔黏土矿物的分布特征和含量变化, 与冰消期以来的孢粉组合有明显的对应关系, 反映了气候特征决定了黏土矿物的形成组合特征, 并与全新世全球性四个气候期 (北方期、大西洋期、亚北方期、亚大西洋期) 相吻合。

关键词: 黏土矿物; 气候; 沉积环境; 黄海

中图分类号: P57 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096 (2007) 05-0032-07

作为冰后期形成的陆表海之一的黄海, 在研究海平面变化和气候环境方面一直受到中外学者的^[1-5]关注, 对其研究涉及到多方面, 黏土矿物研究就是其中之一, 它作为一种气候环境的良好指示剂在研究区域气候变化方面起到了积极作用。国土资源部青岛海洋地质研究所和韩国资源研究所合作, 于 1997 年在南黄海东南侧泥质沉积区施工了两个全取芯钻孔 (SYDP102, SYDP103), 用于研究该地区冰后期以来所发生的环境变化, 作者应用该项目的 SYDP103 孔资料, 对冰后期以来的气候环境变化进行了研究。

SYDP103 孔位于 34° 29' 81.23"N, 125° 29' 81.12"E (图 1), 水深 53 m, 孔深 34.52 m。同年中、韩科学家共同对该钻孔样品进行了描述、编录和取样处理, 全孔取黏土样 64 个, 并立即进行了测试分析。

1 样品处理与分析

黏土矿物分析由青岛海洋地质研究所实验测试中心完成, 测试仪器为: 日本理学 D/MAX-rA 型 X 衍射仪, 测试环境为: 管流管压为 80 mA, 狭缝 1/1, 接收狭缝为 0.3, 起始角 3°~32° (无甘油) 和 3°~14° (有甘油), 步长为 0.02, Cu 靶, 滤波片为石墨单色器。样品经沉降法处理后, 将粒径 ≤ 2 μm 的黏土制

成定向薄片 (同一个样制成两块), 即自然样片和经甘油处理后的定向样片待上机测试。

黏土矿物的定量分析计算是在甘油处理过样品的 X 射线衍射图谱上, 求出 17Å (蒙脱石)、10Å (伊利石)、7Å (高岭石+绿泥石) 特征峰的积分强度, 按 Jons^[6]等人的计算方法, 权重系数 1:4:2 分别乘以上述图谱各峰值的积分强度, 加和配分, 分别计算出它们的各自质量分数。高岭石和绿泥石的质量分数是在自然定向片的 X 射线衍射图谱上, 根据高岭石 3.58Å (002) 和绿泥石 3.52Å (004) 左右衍射峰的峰值强度比 1:1 计算求出。黏土矿物 X 射线衍射图谱见图 2。

2 黏土矿物的含量及分布特征

黏土矿物的含量及含量变化分别见表 1 和表 2,

收稿日期: 2005-11-02; 修回日期: 2007-02-08

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (49736210)

作者简介: 陈正新 (1955-), 男, 湖南临湘人, 研究员, 主要从事海洋地质和第四纪地质研究, 电话: 0532-84097561, E-mail: CZX5755831@sina.com

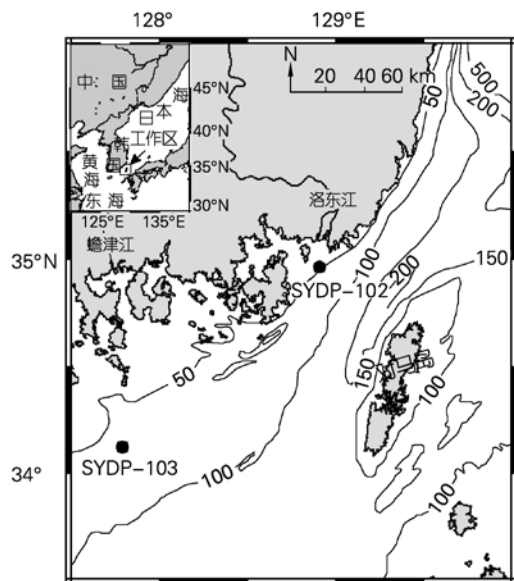


图1 SYDP103 孔位置

Fig.1 Location of SYDP103 core

分布特征见图3。从图3可看出,整个钻孔的伊利石变化从上到下呈逐渐增加趋势。高岭石类变化自上而下为高→低→高→低。绿泥石变化自上而下呈逐渐减少趋势。蒙脱石变化趋势不很明显。

3 黏土矿物的物质来源

表2表明,黏土矿物组成具有明显的地区性,由南向北,根据中国南北不同的纬度带和物质来源的差异,将各海区的黏土矿物主要组合类型分为:珠江口多为高岭石-伊利石-绿泥石型,东海多为伊利石-绿泥石-高岭石-蒙脱石型,黄海多为伊利石-绿泥石-高岭石-蒙脱石型,渤海多为伊利石-绿泥石-蒙脱石-高岭石型,据以上组合类型分析,说明黏土矿物组合受纬度带气候条件影响较大。

SYDP103孔位于黄海东南部泥质沉积区,李绍全^[12]根据韩国科学家 Chang Jeong-hae 等 1997 年个人通讯的计算认为,这块泥质沉积体的量是冰消期以来朝鲜半岛进入黄海的所有河流输砂总量的 2 倍以上,

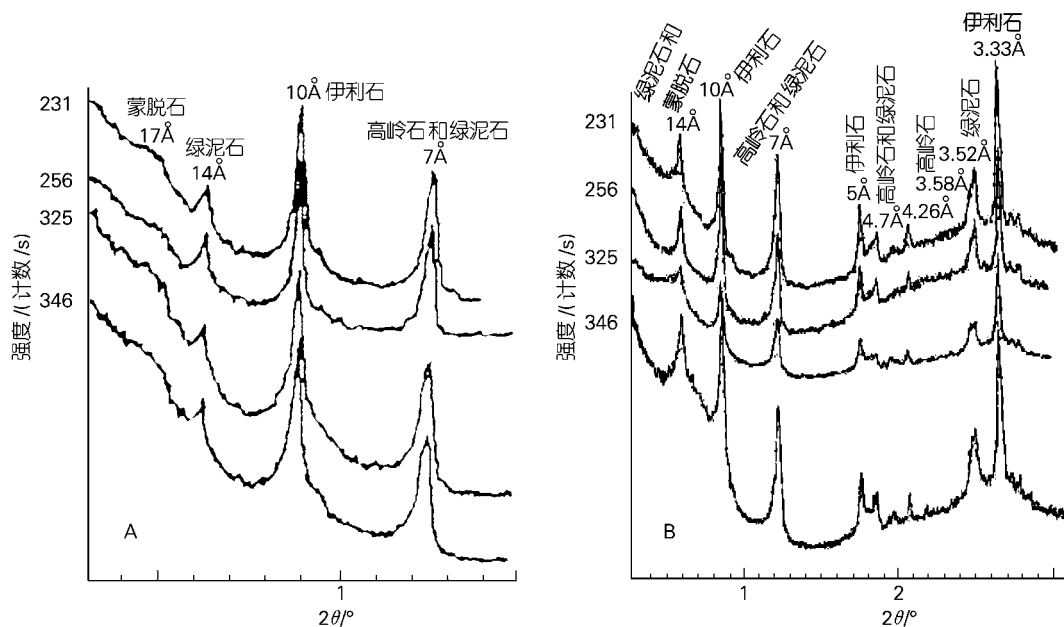


图2 黏土矿物 X 射线衍射图谱

Fig.2 X-ray diffraction of clay minerals in SYDP103 core

A.经甘油处理后的定向片; B.自然定向片

A. glyceric slice ; B. natural slice

表 1 SYDP103 孔黏土矿物质量分数

Tab.1 The contents of clay mineral in SYDP103 hole

层号	深度 (m)	黏土矿物质量分数 (%)				样品数 (个)
		伊利石	高岭石	绿泥石	蒙脱石	
1	0~2.5	63	15	17	10 (2)	4
2	2.5~13	67	12	18	9 (8)	19
3	23	68	14	15	11 (6)	20
4	32	72	13	16	5 (1)	21
合计		68	13	16	8	64

注：括号内的数为参与均分样品数

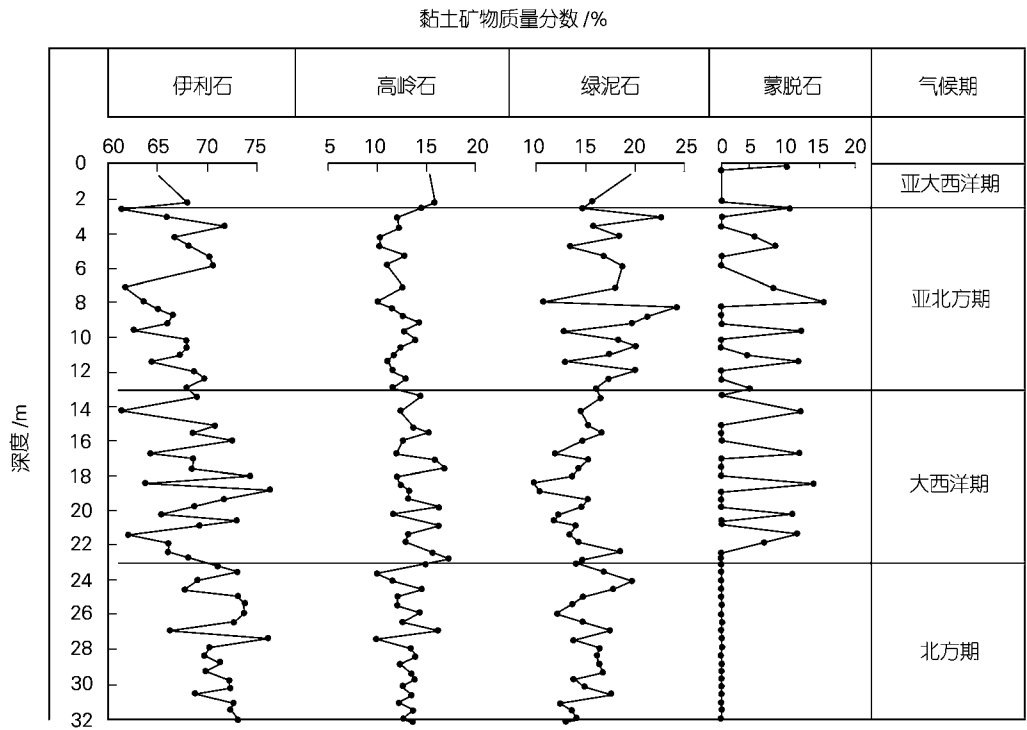


图 3 SYDP103 孔黏土矿物分布特征

Fig.3 The distribution of relative content of clay minerals in core SYDP103

就是说，除了朝鲜半岛的河流输送的物质外，还有其它物质来源，而其它物源是不是黄海暖流从外部带来的物质和周边陆架区沉积物在改造时，细粒物质在搬运过程中被该区的涡旋流捕获沉积下来的呢，通过该泥质区和陆架沉积物被改造过之前物质的石英颗粒 Ge 的 ESR 年龄比较，正好说明了其来源于陆架冰期时的沉积物。

本区黏土矿物一部分也可能来自长江、周边岛屿的陆源物质，SYDP103 孔的黏土矿物的组合类型和垂向上的含量变化与相邻区的钻孔一致^[9, 10]，而与中国不同的纬度带比较却有很大的差异（表 2）。本黏土矿物组合为伊利石-绿泥石-高岭石-蒙脱石型，伊利石质量分数为 67.57%，而东北侧紧相邻（约 40 n mile）的 SYDP102 孔（图 1）其质量分数为 62%，与研究

区西侧的 QC1 孔 (伊利石质量分数为 65%)、QC2 孔 (伊利石质量分数为 68%) 基本相近。往北,随着纬度的增加,伊利石质量分数逐渐增大,渤海的伊利石质量分数已达 81%。往南,随着纬度的变化,伊利石质量分数逐渐降低,到珠江口伊利石质量分数只有 54%。另外,北边高纬度区的黏土物质和南边低纬度地区的黏土没有到达本区的水动力条件,充其量只是风可携带极少部分黏土物质到本区,这说明 SYDP103 孔的伊利石与黄海其它地区的一样,来自同一区域纬度带内的同一物源区,即长江、周边陆源黏土物质的输入和相邻海区的物质再沉积。从表 2 也可以看出,绿泥石、高岭石含量变化在黄海几个钻孔中基本吻合,本研究区正处于高低纬度带过渡区,其黏土矿物伊利石、绿泥石、高岭石的含量变化也符合这一分布规律。

表 2 部分地区黏土矿物含量变化特征

Tab.2 Average compositions of clay minerals in the China seas

地区	黏土矿物质量分数 (%)			
	蒙脱石	伊利石	绿泥石	高岭石
珠江口 ^[7]	23	54	18	27
长江三角洲 ^[8]		59	18	18
东海南部 ^[8]	34	57	9	9
东海北部 ^[8]	25	58	17	17
黄海 SYDP102	14	62	16	12
黄海 SYDP103	8	68	16	13
黄海 QC1 孔 ^[9]	2	65	17	16
黄海 QC2 孔 ^[10]	4	68	13	16
渤海 ^[11]	5	81	8	5

注:高岭石与绿泥石未分

4 黏土矿物形成环境分析

黏土矿物的形成一般认为受两大因素制约:一是对母岩风化作用控制的气候因素;二是沉积区的沉积环境控制因素。

4.1 气候因素

本孔黏土矿物从其含量变化和分布特征看,自下而上可分为四层。就其微小的含量变化也能与全新世

冰消期以来的气候变化较好地吻合(图 3)。

第一层 32~23 m,在 31.57~31.77 m 处,AMS¹⁴C 年代值为 13 830 a±170 a, Yoo and Park^[13]测试了该泥质层下部砂,其 AMS¹⁴C 年龄在 6 000~15 000 a, Park 等^[14]对该黏土层下伏的砂体用同样的方法也进行了测年,对应于本孔黏土层底部为 9 500 a BP~5 500 a BP,在其邻近 NH-16 孔的相应层位测年为 5 760±57 a BP (AMS¹⁴C),刘键^[15]认为,该黏土层底界年龄为 6 000 a (AMS¹⁴C)。本实验中的测年值可能受残留物质的影响使得年龄值偏大,但多位学者的测年资料都表明,该孔的泥质层应形成于 6 000 a BP 左右。本层伊利石质量分数平均为 71.58%,是本孔黏土矿物质量分数最高的。它的形成一是反映了气温相对较低,气候较干燥,二是风化区为一种弱碱性环境。而形成环境相反的高岭石质量分数则比较低(图 3),为 12.73% (表 1)。垂向上这一微小变化也能反映当时的气候环境。有资料表明^[8,16,17],这一时期的孢粉组合是以槲栎、麻栎、栗、松等为主的森林群种,并开始出现少量常绿阔叶树花粉,如青刚栎、栲属等。这种落叶阔叶树花粉数量明显增加,而针叶花粉大量减少,说明了气候已开始转暖,落叶阔叶和针叶混交林植被景观,也表明了当时的温凉偏干燥气候环境,在时间上正好对应于全球的北方期气候期(图 3)。

第二层:23~13 m,在 12.95~13.15 m 处,AMS¹⁴C 年代值为 2 393 a±80 a。该段黏土矿物以高岭石质量分数较高(13.85%),绿泥石质量分数(14.45%)较低为特点。高岭石的形成要求酸性环境,多发育于温暖潮湿、植被发育、淋溶作用强的地区。研究表明,这一时期是全新世最温暖的时期^[8,16,17],这种温暖湿热的气候环境也可从当时的孢粉组合特征中得到证实。此阶段以青刚栎、栲属等常绿阔叶树为主要成份的森林群种,其它常绿阔叶树种类也很多,如樟科、杨梅、常绿栎类、冬青、石楠等。在一些蚀遗水地分布着落叶阔叶的枫香、麻栎、栗、榆等。常绿阔叶树和落叶阔叶树等木本花粉含量可达 65% 以上^[8,16],而且种属繁多。这一植被景观相当于目前中亚热带北缘浙江南部的植被群^[17]。反映了气候暖热,雨量充沛,岩石风化较强,元素流失较严重。这一时期的气候相当于大西洋期性气候特征。

第三层：13~2.5 m，从黏土矿物的组合特征看与第一层基本相似，高岭石质量分数较低，为11.68%，绿泥石质量分数较高，为17.74%，绿泥石多形成于温寒带。气候较干燥，水的交替循环不良的环境，有利于绿泥石形成，而不利高岭石形成，这从孢粉组合中也可得到证实，其孢粉组合是常绿阔叶树花粉不仅数量大为减少，种类也有所减少，落叶阔叶的麻栎和栗代替了青刚栎、栲属而成为森林的优势成分。而以松科花粉为主的针叶树花粉则增多，林间的草本植物种类繁多，主要有藜科、蒿属、莎草科、百合科等^[16]。反映了一种较前期略凉偏干的气候，这一气候带对应于亚北方期气候。

第四层：2.5~0 m，在0.36~0.71 m处 AMS¹⁴C年代值为1 200 a±50 a。图3和表1表明，本段以较高的高岭石含量为特征，反映了温热的气候，雨量充沛，水解加强，利于高岭石的形成。从其孢粉组合特征看也正好反映了这一气候环境，此时的植被则是落叶阔叶树繁盛，针叶树减少，常绿阔叶树比前期增加。林间乔木主要为麻栎、栗、枫香和青刚栎，林间草被主要有禾本科、莎草科、水龙骨科、石松等，反映了气候的温暖湿润。这一气候环境相当于亚大西洋期气候特征。

总之，SYDP103孔黏土矿物自下而上的分布及组合特征与冰消期以来的整个气候波动基本吻合，表明黏土矿物的形成与气候有着密切联系。高岭石在本孔与气候是最为密切的黏土矿物，它自下而上随着气温的冷暖、干湿之变化出现了相应的含量众寡分布。最暖湿的大西洋期亚大西洋期，含量就高，冷干期含量就低（图3）。绿泥石的形成主要是反映气温较低、凉爽较干的环境，与之对应的北方期和亚北方期含量就相对较高（图3）。温热湿润的环境，化学风化较强，绿泥石容易脱铁镁转化成其它黏土矿物使之自身含量偏低。本孔最上部（亚大西洋期）绿泥石平均含量虽然较高，但只是个别样品的反常现象所致（图3），但整个段落的含量是低的。伊利石是一种温寒带气候的产物，它的气候域跨度很大。从现今所跨越的纬度（从20度到高纬度的极地地区）看，伊利石基本为黏土矿物中的主要成分，除特殊情况外。研究区的伊利石自下而上变低的趋势反映了一种气候变化趋势，正如孢粉组合的变化反映了全新世气候总的变暖趋

势一样。本钻孔的蒙脱石含量变化与气候关系不太明显，虽然钻孔中偶尔可见高值含量，可能是暖流从东海和冲绳海槽搬运所至，有等进一步研究证实。

4.2 沉积环境

作为边缘海之一的黄海，虽然有丰富的陆源物质作基础，但沉积物的沉积，特别是细颗粒沉积物需要具备相对比较稳定的沉积环境。SYDP103孔所在位置正位于朝鲜半岛南部西侧陆架区，环周是岛屿，水体较深，北边是朝鲜半岛陆架，东南边是海峡（图1），皆沉积了一套正地貌砂脊，属高能环境，而本孔和其周边是一块大范围的细粒物质沉积区，有资料报道^[18-20]这块泥质区正是涡旋区所在，由于涡旋作用所形成的低能环境，使细粒沉积物富聚并沉积下来。研究认为，根据涡旋区浅层地震剖面资料，涡旋区的泥质沉积物厚度最大可达50 m多，黄海暖流形成的时间大约在6 ka BP^[20]，与本泥质层底部年龄近似。除此之外，靠近朝鲜半岛有一支由北往南的沿岸流，正好在涡旋区与北上的黄海暖流相遇，一方面使得动态的水体相对在该区静止，另一方面，南北的物质也在此驻足沉积。刘健^[20]认为，黄海地区末次冰消期海侵，略早于14 ka BP之前开始，至约6 ka BP海平面达到最高位置。6 ka以来，该区接受了约32 m的细粒物质沉积，并且是在周围皆为强动力作用的情况下能沉积如此厚的细粒沉积物，涡旋作用可能是主要的动力因素。

研究认为，涡旋区是一个逆时针方向旋转的涡流^[18,19]。在夏半年，由于南黄海30 m层以下至底层，黄海冷水团势力强盛，朝鲜半岛西南海岸外底层水涌升，导致低温高盐水与黄海暖流的分离。黄海暖流携带的物质可在低温高盐环境中沉积。从外地搬运来的细粒物质，在暖流运动中，达成了暂时的平衡，能相当一段时间停留在海洋中，而当携带沉积物的一部分暖流在研究区呈涡旋形式驻足时，被该区冷水团的低温高盐及还原环境破坏了原来介质中的平衡，使原来呈絮凝状的细粒物质得以沉积在这种动荡的水体中。如果说黄海暖流是物质的输送者，那么涡旋作用从动力上造就了黏土矿物的沉积环境。另外，沉积区介质的酸碱性对黏土矿物的形成也有很大关系。海洋中具有的弱碱性（pH为7.0~7.8）环境很适应伊利石和蒙脱石的沉积，并随着酸碱性程度的不同，形成或变化

成不同的黏土矿物。如伊利石在弱碱性环境中就可以脱钾富镁变为蒙脱石,要是介质为酸性,蒙脱石也可脱镁生成高岭石。总之,该冷水团的温、盐差异等自然环境有利于呈悬浮状态的黏土物质沉积。

5 结论

SYDP103 孔黏土矿物组合为伊利石-绿泥石-高岭石-蒙脱石型,物质来自朝鲜半岛、周边物质的再改造和长江及周边岛屿陆源物质的供给。

本研究的黏土矿物含量分布特征与冰消期以来气候变化有较好的对应性,第一层相当于北方期,第二层相当于大西洋期,第三层相当于亚北方期,第四层相当于亚大西洋期。沉积动力机制主要是涡旋流、黄海暖流及沿岸流的综合贡献。而涡旋沉积区的温、盐差异性是其黏土矿物沉积有利的因素之一。

参考文献:

- [1] 秦蕴珊.全球变化与陆架沉积[J].沉积学报,1992,10(3):40-46.
- [2] 王开发,张玉兰,蒋辉.中国东部海域更新世晚期的藻类、孢粉组合与古环境变迁[J].中国科学B辑,1987,8:874-882.
- [3] 孟广兰,韩有松,王少青.南黄海陆架区15 ka 以来的古气候事件与环境演变[J].海洋与湖沼,1998,3:297-305.
- [4] 杨子赓,王圣洁,张光威,等.冰消期海侵进程中南黄海潮流沙脊的演化模式[J].海洋地质与第四纪地质,2001,21(3):1-10.
- [5] Yoo D G, Park S C.Late Quaternary lowstand wedges on the shelf margin and trough region of the Korea Strait[J].*Sediment Geol*, 1997,109:121-133.
- [6] 南京大学岩石教研室.粉晶X射线物相分析[M].北京:地质出版社,1980.192-193.
- [7] 蓝先洪,马道修,周清伟,等.珠江口第四纪沉积物中的黏土矿物及其指相意义[J].台湾海峡,1988,7(2):127-134.
- [8] 黄慧珍,唐保根,杨文达,等.长江三角洲沉积地质学[M].北京:地质出版社,1996.52-55.
- [9] 陈正新.南黄海QC1孔黏土矿物研究[J].海洋地质与第四纪地质,1990,10(3):33-45.
- [10] 郑光鹰.南黄海第四纪层型地层对比[M].北京:科学出版社,1989.71-80.
- [11] 中国科学院海洋研究所海洋地质室.渤海地质[M].北京:科学出版社,1985.106-109.
- [12] 李绍全,刘健,王圣洁,等.南黄海东侧冰消期以来的沉积层序与环境演化[J].科学通报,1998,43(8):876-879.
- [13] Yoo D G, Park S C.High-resolution seismic study as a tool for sequence stratigraphic evidence of high-frequency sea-level changes: Latest Pleistocene-Holocene example from the Korea Strait [J]. *Sediment Res*, 2000,70:296-309.
- [14] Park S C, Han H S, Yoo D G. Transgressive sand ridges on the mid-shelf of the southern sea of Korea (Korea Strait): Formation and development in high-energy environments[J]. *Mar Geol*, 2003,193:1-18.
- [15] Liu Jian, Zhu Rixiang, Roberts A P, et al.High-resolution analysis of early diagenetic effects on magnetic minerals in post-middle-Holocene continental shelf sediments from the Korea Strait[J]. *Jour Geo Res*, 2004,109:1-15.
- [16] 张玉兰,贾丽.上海东部地区晚第四纪沉积的孢粉组合及古环境[J].地理科学,2006,26(4):186-191.
- [17] 王开发,张玉兰,蒋辉,等.长江三角洲第四纪孢粉组合及其地层、古地理意义[J].海洋学报,1984,6(4):485-495.
- [18] 蓝淑芳,顾传成,傅秉照.南黄海暖流水附近冷水块的分析研究[A].中国科学院海洋研究所.海洋科学集刊(27)[C].北京:科学出版社,1986.56-64.
- [19] 申顺喜,陈丽蓉,高良,等.南黄海冷涡沉积和通道的发现[J].海洋与湖沼,1993,24(6):563-570.
- [20] 刘健,李绍全,王圣洁,等.末次冰消期以来黄海海面变化与黄海暖流的形成[J].海洋地质与第四纪地质,1999,19(1):13-23.

Clay mineral composition and palaeoclimate signification of the core SYDP103 in the Yellow Sea

CHEN Zheng-xin, HUANG Hai-yan, LI Shao-quan, QU Gao-sheng, LIU Xin-bo
(Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, 266071, China)

Received: Nov., 2, 2005

Key words: clay mineral; climate; depositional environment; the Yellow Sea

Abstract: The composition characteristic of the clay mineral in the core SYDP103 is most of the samples consisted of illite, chlorite, kaolinite and montmorillonite, which are sourced from the redeposit of the clay mineral in the Changjiang River, surrounding terrigenous materials in origin and neighbouring sea areas. The dominate dynamic is eddying motion for sediment environment of the clay mineral in the study area. The distribution characteristic and change in content of this core SYDP103 have distinct corresponding relationship with spore assemblages from the last glacial stage. It was reflected that the climate characteristic determines the composition of clay mineral, which is coincident with four climatic stages of global (Boreal period, Atlantic period, Sub-Boreal period, Sub-Atlantic period) in the Holocene.

(本文编辑：刘珊珊)

(上接第 19 页)

Chemical constituents of the red alga *Symphyocladia latiuscula*

DUAN Xiao-juan^{1, 2}, LI Xiao-ming¹, WANG Bin-gui¹

(1. Key Laboratory of Experimental Marine Biology, Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Received: Nov., 6, 2006

Key words: *Symphyocladia latiuscula*; chemical constituents; structure elucidation

Abstract: Six compounds, namely, pyroglutamic acid ethyl ester (1), 4-cadinen-1-ol (2), 3-beta-hydroxyl-cholest-5-en (3), 6, 10, 14-trimethylpentadecan-2-one (4), 1, 2-O-dipalmitoyl-glycerol (5), and 15-hydroxymethyl-2, 6, 10, 18, 22, 26, 30-heptamethyl-14-methylene-17-hentriacontene (6), were isolated from the red alga *Symphyocladia latiuscula*. Compounds 1 ~ 6 were obtained by normal phase silica gel and Sephadex LH-20 column chromatography and by reverse phase HPLC techniques. Their structures were identified by spectroscopic methods including 1D and 2D NMR. Compounds 1 ~ 6 were isolated from this species for the first time.

(本文编辑：张培新)