

# 从生物脂类化合物到沉积有机质的变化 及其对正演烃源岩有机质形成的启示

王红梅, 马相如, 刘 邓, 杨小芬, 李继红

中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

**摘要:** 现代海洋生物有机组分的动态变化过程是利用正演法评价海相优质烃源岩的重要中间环节, 可以为估算沉积过程中有机质的损耗提供参考。从化学组成来看, 生物体的脂类与原油成分最为接近, 而且与其他生化组分相比, 脂类的化学性质相对稳定, 可以长期保存在地层中, 因此脂类是最重要的生油母质。温度、盐度、CO<sub>2</sub> 等环境条件以及生物的种类和生长阶段对生物脂类组成有重要影响, 不同环境条件和不同种类的生物对烃源岩有机质的贡献也不同。海水中的有机质在沉积过程中受原始生产力和氧化还原条件的影响。在特定生境中, 在一定的生产力范围内, 沉积有机质的通量与生产力有正相关关系。超过此范围, 沉积有机质通量与生产力关系不大。氧化条件下有机质降解速度快, 而还原条件则有利于沉积有机质的保存。生物膜的形成不仅使有机质更容易沉积, 而且降低了有机质被降解的机会。地质历史时期生物膜的识别对研究烃源岩有机质的保存具有重要意义。

**关键词:** 现代海洋; 海洋生产力; 生化组分; 生物膜; 沉积有机质; 烃源岩。

中图分类号: P736.2

文章编号: 1000-2383(2007)06-0748-07

收稿日期: 2007-08-25

## Chemical Variation from Biolipids to Sedimentary Organic Matter in Modern Oceans and Its Implication to the Geobiological Evaluation of Hydrocarbon Source Rocks

WANG Hong-mei, MA Xiang-ru, LIU Deng, YANG Xiao-fen, LI Ji-hong

Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

**Abstract:** Understanding the dynamics of organic matter in marine water columns greatly favors the geobiological evaluation of hydrocarbon source rocks. Biolipids could make great contribution to petroleum due to their comparable chemical components and the slightly refractory characteristics of biolipids during the microbial/thermal degradation. A variety of environmental factors such as temperature, CO<sub>2</sub> and salinity could affect the biochemical contents in microorganisms. As a result, microorganisms living in a changing environmental condition might have a different contribution to petroleum formation. Organic carbon flux shows a positive correlation with biological productivity only within a certain range of biomass volumes in a specific biohabitat. Furthermore, organic matter is degraded much more quickly in a water column with oxic conditions. Therefore the anoxic condition, along with the enhanced biological productivity, would be one of the significant factors in contributing the formation of high-quality hydrocarbon source rocks. The formation of biofilms favors the preservation of sedimentary organics by enhancing the deposition rate and decreasing the degradation rate of organics. Identification of biofilms in sedimentary rocks will thus greatly help to understand the depositional processes of organic matter finally preserved in hydrocarbon source rocks.

**Key words:** modern oceans; primary productivity; biochemicals; biofilm; sedimentary organic matter; hydrocarbon source rocks.

基金项目: 中国石油化工股份有限公司海相油气勘探前瞻性项目(No. G0800-06-ZS-319); 国家自然科学基金项目(No. 40672081)。

作者简介: 王红梅(1970-), 女, 副教授, 主要从事地球微生物学的教学和科研工作。E-mail: hmwang@cug.edu.cn

烃源岩有机质的形成和保存状况是油气资源形成的前提,它们不仅与生物的发生、发展、繁盛、死亡等过程有着密不可分的关系,而且也与生化组分在沉积过程中的变化有关。沉积有机质主要来源于生物有机体,在组成和结构上继承和保持了原有生物母质的特性。查明现代海洋中有机组分从生物生产力到沉积有机质的动态变化,是利用地球生物学方法正演海相优质烃源岩形成的关键一环。

组成生物体的元素主要有C、H、O、N、S、P等。它们约占生物体元素的98%左右,主要以核酸、蛋白质、糖类、脂类等化合物的形式存在于生物体内。相对于脂类来说,核酸、蛋白质和糖类不稳定,易遭受水解、酶解和微生物降解等作用,使得地质体中这些生化组份的含量在短时间内迅速下降,它们对石油的生成来讲基本贡献不大。本文将着重讨论现代海洋生物脂类的变化特征,特别是从海洋初级生产力到沉积有机质这一过程中脂类的变化,为利用正演法由初级生产力估算沉积有机质提供参考。

## 1 生物脂类随生物种类和生长阶段的变化

脂类(lipid,有机地球化学领域也称类脂物)主要是指动植物的油脂(脂肪)。广义的脂类则还包括固醇类、萜类、烃类和色素等。不饱和脂肪酸在植物油中普遍存在,在植物的种子、孢子和果实中也含有丰富的脂类化合物。萜烯(terpene)、甾类(steroid)

都是重要的天然产物,它们广泛存在于动植物中,化学性质比较稳定,在油气地球化学研究中有着特别重要的意义,是应用最为广泛的生物标志化合物。脂类化合物的生理功能包括构成生物膜的骨架、主要能源物质、参与细胞识别、构成身体或器官保护层等。生物体内的脂类结构差异很大,如中性脂肪、磷脂、甾醇类、萜类、生物蜡等类型,但脂类却具有一些共同特征,如脂类的非极性和疏水性,不溶于水而溶于非极性溶剂等。

从化学组成来看(表1),脂类与石油的成分最为接近。从化学性质上来讲,脂类较其它生物大分子更加稳定,能够在古老的地层中保存下来,因此脂类被认为是最重要的成油母质。从生物种类上来讲,低等菌藻类生物的化学成分与石油成分比较接近,而高等的陆生植物则与煤的成分更接近,表明不同生物对石油的贡献不同。

脂类的含量、种类、饱和度随生物种类的不同而变化。与其他微生物相比,嗜冷微生物的脂类中不饱和脂类化合物增加、链的平均长度降低、甲基分支增加,以保证细胞膜的流动性和物质交换。在嗜热微生物中,其脂类总量增加,高熔点长链饱和脂肪酸增加(Koki and Grant, 1998)。在藻类中,硅藻含有大量脂类化合物,有时可占其干重的70%,尤其是生长在缺氮的冷水环境中的某些藻类,会产生含量很高的脂类化合物。因此,不同的生物可能对油气的生成有不同的贡献。

微生物的生长阶段也对其脂类含量有重要影响。

表1 生物体及其演化产物的平均元素组成(据王启军和陈建渝,1984;黄第藩和李晋超,1982,综合)

Table 1 Mean contents of elements in organisms and their derived products

元素组成	C	H	O	H/C 原子比	O/C 原子比	
生物体	藻类、浮游生物	68	9.8	20	1.73	0.22
	细菌、酵母	50	6.7	12.4~30.5	1.61	0.19~0.46
	浮游动物	57	8.5	33	1.79	0.43
	陆生植物	54	6	37	1.33	0.51
	植物木质部	50	6	44	1.44	0.66
生化组分	碳水化合物	44	6	50	1.64	0.76
	木质素	62.0	6.1	31.9	1.18	0.39
	蛋白质	53	7	23.0	1.58	0.33
	脂类	76	12	12	1.89	0.11
演化产物	泥炭	60~70	5~6	25~35	0.86~1.2	0.27~0.44
	褐煤	70~80	5~6	15~25	1.03~0.75	0.14~0.27
	烟煤	80~90	4~6	5~15	0.9~0.53	0.04~0.14
	无烟煤	90~98	1~4	1~3	0.12~0.53	0.007~0.025
	石油	84	13	2	1.84	0.004

响. 微生物的生长可分为滞后期、对数生长期、稳定期和衰亡期四个阶段. 处于不同生长阶段的微生物的生化组分也有变化. Liang *et al.* (2002) 研究了 4 株不同的微藻类在不同生长阶段总的脂类和脂肪酸的变化情况. 结果显示, 所研究微藻总脂类、饱和脂肪酸、一元不饱和脂肪酸和多元不饱和脂肪酸等含量大多在稳定期的后期达到最高, 也有少量指标在对数期达到最高.

## 2 环境条件对生物体脂类的影响

生物体脂类不仅与生物种类和生长阶段有关, 不同的环境条件对生物的脂类也有很大的影响.

### 2.1 温度和盐度对脂类含量的影响

Zhu *et al.* (2007) 研究了 *Schizochytrium limacinum* OUC88 在不同温度 (16, 23, 30, 37 °C) 和不同盐度 (0, 0.9, 1.8, 2.7 and 3.6%, w/v) 条件下的生长情况, 并对其脂类的含量进行了测定. 发现该菌株在 16~30 °C 以及盐度在 0.9%~3.6% (w/v) 的情况下, 生长情况较好, 而且脂类含量也较高. 当 *Schizochytrium limacinum* 的生长受到抑制时 (37 °C 和 0%, w/v 盐度), 脂类的含量显著下降, 并且奇碳数脂肪酸的含量大量增加.

Araújo and Garcia (2005) 研究了温度和盐度对海洋硅藻 *Chaetoceros cf. wighamii* 生长和生化组分的影响. 低温情况下, 脂类和碳水化合物含量较高, 蛋白质含量保持不变. 但当盐度为 35‰ 时, 糖类含量增加, 而蛋白质和脂类的含量降低. 充分说明了生物体生化组分的复杂性.

### 2.2 CO<sub>2</sub> 浓度

Xia and Gao (2005) 研究了淡水绿藻 *Chlorella pyrenoidosa* 和 *Chlamydomonas reinhardtii* 在不同的 CO<sub>2</sub> 浓度 (3~186 μmol/L) 下的生长情况, 并对其化学成分进行了测定. 结果表明, 两种藻的叶绿素、类胡萝卜素和蛋白质的含量随 CO<sub>2</sub> 含量的增加而增加. 并且 *C. pyrenoidosa* 叶绿素 a 和叶绿素 b 的比值也随之显著增加, 但在 *C. reinhardtii* 并没有发现类似情况. 表明不同生物的脂类对 CO<sub>2</sub> 浓度变化的不同响应.

Araújo and Garcia (2005) 的工作则表明, CO<sub>2</sub> 的加入主要影响 *C. cf. wighamii* 的生长和生物量, 同时使得蛋白质的含量增加, 糖类含量减少, 但脂类含量不变.

## 3 沉积有机质的变化及其影响因素

### 3.1 沉积有机质与生产力和有机质来源的关系

从全球来看, 在大多数情况下, 能够进入沉积物的有机质只占总生物量的 0.1%, 不超过 1% (Tissot and Welte, 1978). 海洋中大约 0.3% 的活生物量可以进入沉积物 (Summons, 1993). 图 1 显示的是 2000 m 深的海水中有有机质的年通量和年生产力之间的关系. 由图 1 可知, 有机碳通量在一定范围内与生产力成正比, 但当生产力大于 200 g C<sub>org</sub>/m<sup>2</sup>/y 时, 有机质的年通量则处于平稳状态, 不再随生产力的增加而增加. Berner (1994) 和 Huc *et al.* (2005) 在研究烃源岩时, 也证明了有机质通量与海洋生产力之间的正相关关系.

海水中的有机质除了来源于海洋浮游植物的初级生产力外, 还来源于陆源高等植物, 它通过河流搬运而来. 两部分的比比例则因海域、风化作用的强弱和地理位置的差异而变化. 据计算, 保存在海洋沉积物中的有机质约有 1/3 来自陆地 (Burdige, 2005). 这些来自于陆地的有机质可以通过总有机碳同位素、几丁质、氧化产物、单体碳同位素、放射性碳的测定和特定的生物标志化合物来识别 (Goñi *et al.*, 1993; Gough *et al.*, 1993; Keil *et al.*, 1994; Prahl *et al.*, 1994; Gordon and Goñi 2003, 2004). Gordon and Goñi (2003) 估算北墨西哥湾内陆架 (水深 0~20 m) 的沉积物中由 Atchafalaya 河带来的有机质大约占 70%~80%. 而沉积在华盛顿大陆架的外陆架至大陆斜坡的有机质中约 10%~30% 来自于陆源物质 (Keil *et al.*, 1994; Prahl *et al.*, 1994).

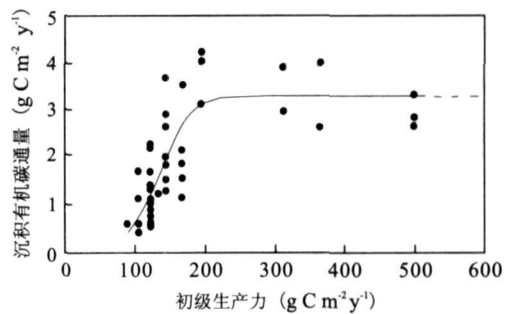


图 1 非极地区海洋 2000 m 深处年生产力与有机碳通量的关系 (据 Harvey, 2006 修改)

Fig. 1 The relationship between annual organic carbon flux and annual primary productivity at 2000 m depth of non-polar marine (Modified from Harvey, 2006)

来自于陆源高等植物的有机物大多经过了长途搬运和微生物降解作用, 因此到达海洋之后受微生物降解作用较弱, 加上河流在河口的沉积作用, 大多的颗粒有机体会随细粒的沉积物沉积到大陆架至大陆边缘的海底. 这部分来自陆地的有机质, 在评估海洋生产力组成时应该剔除掉.

### 3.2 沉积有机质与氧化还原条件密切相关

由于浮游植物是海洋颗粒有机物的主要贡献者, 不少学者对藻类物质在水柱至沉积物界面的沉降过程中的稳定性和周转时间做了详细的探讨, 反映出氧化还原条件对沉积有机质的重要性. Harvey *et al.* (1995) 和 Nguyen and Harvey (1997) 对硅藻、蓝细菌和腰鞭毛虫的不同生化组分在海水中的变化进行了研究. 研究表明, 在氧化条件下, 所研究对象的各种有机组分在海水中的周转周期不超过 45 天, 而在还原条件下也不超过 160 天. 因此, 有机质在沉降过程中大多数会被降解, 而氧化还原条件则对有机物的周转周期有着重要影响. 在还原条件下, 有机质的周转周期至少要比在氧化条件下长 1.4 ~ 10.4 倍. Harvey and Macko (1997) 研究了沉积过程中浮游植物 (硅藻 *Thalassiosira weissflogii* 和蓝细菌 *Synochococcus* sp.) 在不同的氧化和还原条件下脂类的变化, 发现颗粒有机物和总脂类的降解常数在两种生物间表现出很好的一致性. 而不同脂类的降解则表现出很大的区别, 不饱和脂类比其对应的饱和脂类的降解要快得多. 周转周期从氧化条件下的 8.8 天 (硅藻不饱和烯烃) 到还原条件下的 142 天 (植醇). 这也表明氧化还原条件对有机质降解的重要影响.

不同的浮游生物的生化组分绝对含量变化很大, 但综合起来一般认为蛋白质占 35%, 糖类占 40%, 脂类占 16%, 剩余的 10% 则是核酸和其他不溶的物质组成. 按照这一原则, 图 2 绘制了不同生化组分的降解曲线. 由图 2 可知, 海水有机物中的蛋白质和糖类经过 70 天后基本上已全部降解, 而颗粒有机物和脂类经过 100 天后, 最终也只有 5% 保存下来. 同时, 保存下来的有机物的成分也在发生变化, 最终成为一些未知的有机化合物和脂类. 而对脂类的进一步研究发现 (Harvey, 2006), 脂肪酸、植醇、甾醇、正构烷烃等经过 60 天后, 已经所剩无几; 总的脂类也不到 30%. 经过 100 天, 总的脂类不到 15%. 成份大多为未知化合物, 含有少量的正构烷烃. 因此, 在沉积过程中, 海洋有机质逐渐向稳定化合物转

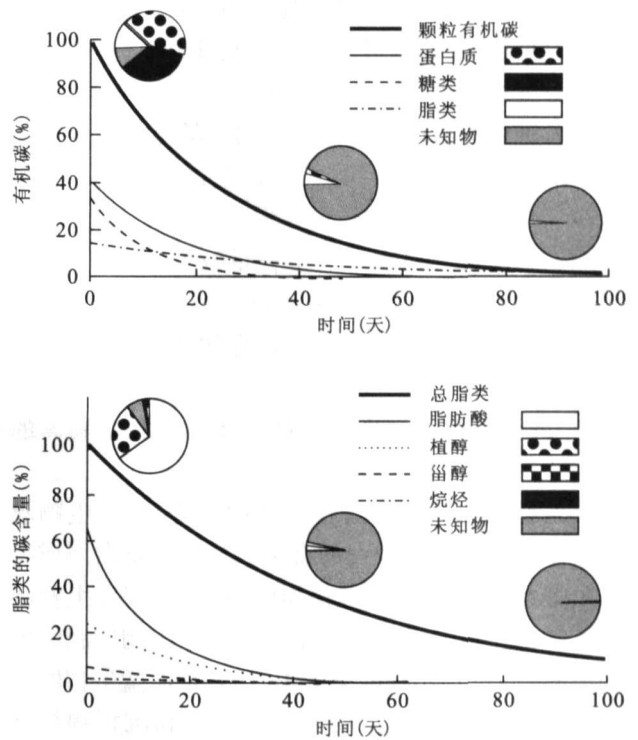


图 2 海洋生物生化组分的降解 (据 Harvey, 2006, 重新绘制)  
Fig. 2 Variations of biochemicals in marine organisms during degradation (Redrew from Harvey, 2006)

化, 并最终参与油气的形成. 在此过程中, 脂类化合物的相对含量增加.

Hartnett *et al.* (1998) 研究了北太平洋华盛顿州和墨西哥大陆边缘海水氧的含量与沉积物中有机碳含量之间的关系. 墨西哥海水中氧的含量在水深 150 ~ 600 m 左右几乎为零, 而华盛顿海域海水中的氧含量在该深度内存在逐步降低的趋势, 直至 600 m 处, 降至和墨西哥海域相同的范围. 在同一深度, 沉积物有机碳的含量在墨西哥海域明显高于华盛顿海域, 二者几乎相差 4 倍左右. 显示出有机碳的埋藏效率与有机物暴露在沉积物孔隙水中分子氧的时间长短密切相关, 也证明了氧化还原条件强烈影响有机质的保存.

因此, 在富氧的条件下, 大部分来自于海洋浮游植物的有机质会被降解. 而富含有机质的海洋沉积物的形成通常与厌氧环境有关. 在沉积过程中, 来源于生物有机体的组分, 不仅其含量发生变化, 而且其组成也发生了明显的变化, 总的情况是脂类化合物相对增加, 并可能经过进一步的热演化形成石油或天然气.

### 3.3 沉积有机质与细菌生物量的关系

很显然,细菌是最后对有机质进行改造的生物,它们对沉积有机质的作用是显而易见的.然而关于它们对沉积有机质在生物量上的贡献目前还难以确定.Ourisson *et al.* (1984)认为,来自于细菌的生物量在某些情况下可以成为干酪根重要的来源.然而考虑到细菌在沉积物中的生物量较低,再加上其成分的高度可代谢性,Hartgers *et al.* (1994)和Tyson (1995)认为细菌对表层沉积有机物的贡献在大多情况下只有百分之几.

### 3.4 沉积有机质与生物膜(biofilm)和微生物席的作用

生物膜和微生物席在水体中十分常见.生物膜是指吸附在颗粒物表面的有机大分子如蛋白质或者多糖等组成的粘液或胶状物(Egan, 1987).生物膜也可以指在物体表面由一层或多层微生物细胞组成的薄膜(Krumbein and Stahl, 1991).而微生物席则是由不同微生物、它们的胞外聚合物和沉积颗粒互相联结在一起组成的一层膜(Krumbein and Stahl, 1991).

沉积颗粒可以是无机的,也可以是机质的;可以是原地的,也可以是异地的.例如,方解石、文石和黄铁矿等就可能和微生物席胶结在一起.有机物吸附在沉积颗粒上会有效地降低被降解的可能性,从而提高沉积有机质的埋藏效率.Mayer (1994)发现总有机碳的含量和矿物颗粒的表面积成正比,并通过实验证实,当有机物从沉积物颗粒上解吸后,有机质被降解的速度大为增加.并且发现,与贫钙的粘土矿物相比,有机质更倾向吸附于富钙的矿物上(如蒙脱石,其表面积 $> 100 \text{ m}^2/\text{g}$ ) (Keil *et al.*, 1994; Mayer, 1994; Hedges and Keil, 1995; Ransom *et al.*, 1998).因此,生物膜或微生物席的形成应更有利于有机质的保存.

生物膜的形成对细菌具有保护作用,而且在营养贫乏的环境中,生物膜还可以充当营养物质(Costerton *et al.*, Fletcher, 1985; Paerl, 1985; Stotzky, 1985).此外,生物膜还可以有效地从营养贫乏的环境中获取无机的和有机的营养物质(Egan, 1987),因此对细菌群体的发展和维持具有重要作用.除了能将沉积颗粒胶结在一起外,生物膜和微生物席的形成还可以影响沉积物的物理特征,如孔隙度、渗透性及孔隙水中可溶物质的通量等,从而影响早期成岩作用.与形成微生物席或生物膜的

细菌相比,生物膜和微生物席更容易保存在地质记录中(Westall and Rince, 1994).

## 4 对正演烃源岩中有机质形成的启示

不同的生物具有不同的生物化学组成,特别是与原油成分类似的脂类化合物.不仅如此,生物,特别是微生物,在其不同的生长阶段,脂类的组成和含量也不同.因此,不仅要研究生物生产力的量,更要研究其组成和结构,特别是那些具有高含量脂类化合物的微生物.

生物体中的脂类化合物还随着温度、盐度和 $\text{CO}_2$ 分压等环境条件的变化而变化,因此,不同生境型的生物,其脂类化合物的含量也会有差别.在研究生产力的组成时,应该将它与生境型研究相结合.

在沉积过程中,沉积有机质在量和质上的变化与生产力和氧化还原条件密切相关.在特定生境中,在一定的生产力范围内,沉积有机质的通量与生产力有正相关关系.超过此范围,沉积有机质通量与生产力关系不大.氧化还原条件对沉积有机质具有重要影响.还原条件下,沉积有机质较多.生物膜的形成不仅使有机质更容易沉积,而且降低了有机质被降解的机会.地质历史时期生物膜的识别对研究烃源岩有机质的保存具有重要意义.

## References

- Araújo, S. C., Garcia, V. M. T., 2005. Growth and biochemical composition of the diatom *Chaetoceros cf. wighamii* brightwell under different temperature, salinity and carbon dioxide levels: I. Protein, carbohydrates and lipids. *Aquaculture*, 246(1-4): 405-412.
- Berner, P. A., 1994. Geocarb II: A revised model of atmospheric  $\text{CO}_2$  over Phanerozoic time. *American Journal of Science*, 294: 56-91.
- Burdige, D. J., 2005. Burial of terrestrial organic matter in marine sediments: A re-assessment. *Global Biogeochemical Cycles*, 19(4): GB4011.
- Costerton, J. W., Marriett, J., Cheng, K. J., 1985. Phenomena of bacterial adhesion. In: Savage, D., Fletcher, M., eds., Bacterial adhesion. Plenum Press New York, 344.
- Egan, B., 1987. Marine microbial adhesion and its consequences. In: Sleight, M. A., ed., Microbes in the sea. Ellis Horwood, 220-238.
- Fletcher, M., 1985. Effect of solid surfaces on the activity of

- attached bacteria. In: Savage, D., Fletcher, M., eds., Bacterial adhesion. Plenum Press, New York, 339—362.
- Goñi, M. A., Nelson, B., Blanchette, R. A., et al., 1993. Fungal degradation of wood lignins: Geochemical perspectives from CuO-derived phenolic dimmers and monomers. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57(16): 3985—4002.
- Gordon, E. S., Goñi, M. A., 2003. Sources and distribution of terrigenous organic matter delivered by the Atchafalaya River to sediments in the northern Gulf of Mexico. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67(13): 2359—2375.
- Gordon, E. S., Goñi, M. A., 2004. Controls on the distribution of and accumulation of terrigenous organic matter in sediments from the Mississippi and Atchafalaya River margins. *Marine Chemistry*, 92: 231—352.
- Gough, M. A., Fauzi, R., Mantoura, C., et al., 1993. Terrestrial plant biopolymers in marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57(16): 945—964.
- Harvey, H. R., 2006. Sources and cycling of organic matter in the marine water column. In: Volkman, J., ed., Marine organic matter. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1—25.
- Harvey, H. R., Macko, S. A., 1997. Kinetics of phytoplankton decay during simulated sedimentation: Changes in lipids under oxic and anoxic conditions. *Organic Geochemistry*, 27(3—4): 129—140.
- Harvey, H. R., Tuttle, J. H., Bell, J. T., 1995. Kinetics of phytoplankton decay during simulated sedimentation: Changes in biochemical composition and microbial activity under oxic and anoxic conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(16): 3367—3377.
- Hartgers, W. A., Sinninghe, D. J. S., Requejo, A. G., et al., 1994. Evidence for only minor contributions from bacteria to sedimentary organic carbon. *Nature*, 369(64—77): 224—227.
- Hartnett, H. E., Keil, R. G., Hedges, J. I., et al., 1998. Influence of oxygen exposure time on organic carbon preservation in continental margin sediments. *Nature*, 391(6667): 572—574.
- Hedges, J. I., Keil, R. G., 1995. Sedimentary organic matter preservation: An assessment and speculative synthesis. *Marine Chemistry*, 49(2—3): 81—115.
- Huang D. P., Li, J. C., 1982. Formation of terrestrial petroleum in China. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Huc, A. Y., Van Buchem, F. S. P., Colletta, B., 2005. Stratigraphic control on source rock distribution: First and second order scale. In: Harris N. B., ed., The deposition of organic carbon rich sediments: Models mechanisms and consequences. *SEPM (Society for Sedimentary Geology) Special publication, Tulsa, Oklahoma*, 82: 225—242.
- Keil, R. G., Tsamakis, E., Fuh, C. B., et al., 1994. Mineralogical and textural controls on the organic composition of coastal marine sediments: Hydrodynamic separation using SPLITF-fractionation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(2): 879—893.
- Koki, H., Grant, W. D., 1998. Extremophiles microbial life in extreme environments. Wiley-Liss, New York.
- Krumbein, W. E., Stahl, L. J., 1991. The geophysiology of marine cyanobacterial mats and biofilms. *Kieler Meeresforsch*, 62: 158—163.
- Liang, Y., Mai, K. S., Sun, S. C., 2002. Effects of harvest stage on the total lipid and fatty acid composition of four *cylindrotheca* strains. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 20(2): 157—161.
- Mayer, L. M., 1994. Surface area control of organic carbon accumulation in continental shelf sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(4): 1271—1284.
- Nguyen, R. T., Harvey, H. R., 1997. Protein and amino acid cycling during phytoplankton decomposition in oxic and anoxic waters. *Organic Geochemistry*, 27(3—4): 115—128.
- Ourisson, G., Albrecht, P., Rohmer, M., 1984. The microbial origin of fossil fuels. *Scientific American*, 251(2): 44—51.
- Paerl, W., 1985. Influence of attachment on microbial metabolism and growth in aquatic ecosystems. In: Savage, D., Fletcher, M., eds., Bacterial adhesion. Plenum Press, New York, 363—400.
- Prahl, F. G., Ertel, J. R., Goni, M. A., et al., 1994. Terrestrial organic carbon contributions to sediments on the Washington margin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(14): 3035—3048.
- Ransom, B., Kim, D., Kastner, M., et al., 1998. Organic matter preservation on continental slopes: Importance of mineralogy and surface area. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62(8): 1329—1345.
- Stotzky, G., 1985. Mechanisms of adhesion to clays, with reference to soil systems. In: Savage, D., Fletcher, M., eds., Bacterial adhesion. Plenum Press New York, 195—254.
- Summons, R. E., 1993. Biochemical cycles: A review of fun-

damental aspects of organic matter formation, preservation and composition. In: Engel, M. H., Macko, S. A., eds., Organic geochemistry: Principles and applications. Plenum Press, New York, 3—21.

Tissot, B. P., Welte, D. H., 1978. Petroleum formation and occurrence. First Ed.. Springer verlag, Berlin.

Tyson, R. V., 1995. Sedimentary organic matter-organic facies and palynofacies. Chapman & Hall, London.

Wang, Q. J., Chen, J. Y., 1988. Geochemistry of petroleum and gas. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).

Westall, F., Rinco, Y., 1994. Biofilms, microbial mats and microbe-particle interactions; Electron microscope observation from diatomaceous sediments. *Sedimentology*, 41(1): 147—162.

Xia, J. R., Gao, K. S., 2005. Impacts of elevated CO<sub>2</sub> concen-

tration on biochemical composition, carbonic anhydrase, and nitrate reductase activity of freshwater green algae. *Journal of Integrative Plant Biology*, 47(6): 668—675.

Zhu, L. Y., Zhang, X. C., Ji, L., et al., 2007. Changes of lipid content and fatty acid composition of *Schizochytrium limacinum* in response to different temperatures and salinities. *Process Biochemistry*, 42(2): 210—214.

附中文参考文献

黄第藩, 李晋超, 1982. 中国陆相油气生成. 北京: 石油工业出版社.

王启军, 陈建渝, 1988. 油气地球化学. 武汉: 中国地质大学出版社.

\*\*\*\*\*

### 热烈祝贺《地球科学》(英文版)进入国际著名检索系统 SCIE

根据美国汤姆森科技信息集团科学信息研究所(Thomson ISI)的正式通知和 ISI 网查询,《地球科学》(英文版)(Journal of China University of Geosciences, ISSN: 1002—0705)已经被列入美国《科学引文索引(扩展库)》(SCIE)来源期刊, 2007 年第 18 卷第 1 期开始正式收录。

《地球科学》(英文版)创刊于 1990 年, 十几年来, 在中国地质大学校领导的大力支持下, 学报编辑部坚持按照国际期刊规范办刊, 坚定不移地走国际化、专业化的道路, 报道中国地球科学领域前瞻性的研究成果和最新发现, 该刊的学术质量稳步上升。

尤其是 1999 年以来,《地球科学》编辑部确立了进入 SCI 的奋斗目标, 为了提高期刊质量, 严格按照 SCI 选刊、评估标准办刊, 并且采取了一系列措施: 2003 年改革了编委会, 增加了 17 名国际编委, 2004—2006 年聘请了英国语言学博士 Paul Richard Weldon 来编辑部工作, 2005 年 9 月与国际著名出版公司 ELSEVIER 签订了合作出版、发行英文版电子版的协议; 2006 年起由国际著名出版集团 ELSEVIER 独家海外发行英文版电子版, 扩大了英文版的国际知名度. 2007 年 6 月 28 日期盼已久的美国汤姆森公司发来喜讯:《地球科学》(英文版)2007 年起正式被 SCIE 收录。

八年来,《地球科学》编辑部在中国地质大学校领导和编委会的正确领导下, 主编王亨君教授率领的《地球科学》团队求真务实, 开拓创新, 在选题策划、编辑人才培养、网站建设和国际化发展等方面付出了艰辛的努力, 取得了一次又一次的成绩, 为繁荣科技出版和地球科学事业做出了应有贡献。

今后《地球科学》编辑部将要承担着更大的压力和挑战, 要不断与时俱进, 开拓创新, 为争创国际一流科技期刊而努力奋斗。