

沉积物中有机质的环境行为研究进展*

朱广伟 陈英旭

(浙江大学环境工程系, 杭州 310029)

提 要 水体沉积物是重金属、有毒有机化合物等环境污染物及 C、N、P 等营养元素的汇和释放源, 而有机质对这些污染物和营养元素在沉积物中的迁移、转化等地球化学行为中起着至关重要的作用. 本文就近期有关沉积物中有机质的环境地球化学行为方面的研究进行了综述, 重点评述了有关沉积物中有机质本身的来源、性质、迁移和矿化及其环境效应等方面的研究进展.

关键词 有机质 沉积物 地球化学行为 环境效应

分类号 X142

沉积物既能成为水体污染物的汇, 又可能成为水体污染物的源, 其中沉积物有机质对污染物的迁移释放行为起着关键性的作用. 有机质矿化过程中大量耗氧, 同时释放出 C、N、P、S 等营养盐, 可以造成严重的水质恶化、水体富营养化^[1]; 有机质通过吸附、络合, 对沉积物中重金属、有毒有机化合物的生态毒性、环境迁移行为起决定性控制^[2,3]; 有机质矿化过程中还能产生大量 CO₂、CH₄ 等温室气体及挥发性卤代有机化合物等破坏臭氧层气体^[4]. 因此, 沉积物中有机质在沉积物环境化学及污染化学中扮演着重要的角色. 本文就近年来有关沉积物中有机质的来源、特征、迁移及矿化等地球化学行为及其环境效应研究进行了综述.

1 沉积物中有机质的地球化学行为研究

1.1 沉积物中有机质的来源

沉积物中有机质的来源分内源输入和外源输入两种. 内源有机质主要是水体生产力本身产生的动植物残体、浮游生物及微生物等的沉积而得, 外源输入主要是通过外界水源补给过程中携带进来的颗粒态和溶解态的有机质.

在人类活动干扰较小的湖泊中, 沉积物有机质以内源输入为主. 天然湖泊沉积物中内源输入的有机质可占沉积物总有机质的 90% 以上^[5]. Gale 和 Reddy^[6] 通过对一个浅水亚热带富营养化湖泊沉积物-水中 C 通量研究发现, 湖泊初级生产力沉积的 C 通量高达 1034g/(m²·a), 其中通过再悬浮而重新进入水体的通量为 720g/(m²·a), 而外源进入湖水的 C 通量仅为 20g/(m²·a).

河流沉积物中有机质的外源输入比例远远大于湖泊, 这与河水的大量外源输入及相对短暂的水力停留时间有关. Albuquerque 和 Mozeto^[7] 通过对巴西圣保罗地区的一个河流-湿地系统中有机质来源的研究发现, 该地区河流中颗粒态有机碳、氮、磷的浓度峰值期与当地雨季十分吻合, 说明该河流中有机质的来源受流域地表径流强度的控制. 而该地区湿地湖泊中的

* 杭州市环保局资助项目 (HEPB-98-12).

收稿日期: 2000-11-02; 收到修改稿日期: 2001-03-14. 朱广伟, 男, 1972 年生, 博士研究生.

碳、氮、磷高峰均出现在雨季之前,与湖泊生物生长量高峰吻合,明显受湖泊内源有机质输入强度的控制.通过沉积物稳定C同位素示踪分析也表明,湖泊沉积物中有机质的主要来源为湖泊水生生物,部分受地表径流输入及河流颗粒有机碳输入的影响.

人为活动会大大增加沉积物有机质的外源输入. Howarth等^[8]对Hudson河口沉积物来源分析结果表明,尽管该河口周围的地貌以森林地为主,但林地来源的有机质并不是Hudson河口沉积物中有机质的主要来源,而是河口周围占比例很小的城市、郊区和农田.沉积物中有机质的年输入强度主要受偶然发生的暴雨天气控制,而与年际间的平均降雨量关系不大,说明沉积物有机质的输入与地表植被严重破坏区的水土流失有关.

废水直接排放到河流和湖泊及生态破坏而造成的地表径流是人类对河流/湖泊沉积物有机质外源输入增加主要影响方式.例如我国湖泊的主要水体污染物来源为工业和生活废水排入、城镇等地的地表径流、湖泊养殖投饵和水面娱乐等^[9].据1982-1984年对我国35个湖泊水质调查资料分析,54%的湖泊受到人类污染物排放引起的有机物、营养盐的严重污染,尤以城郊湖泊较为突出^[10].

对于河流/湖泊沉积物中有机质的来源调查一般采用¹³C、¹⁴C同位素示踪分析法.由于陆地、水体、底栖生物的营养方式、生存条件不同,造成生物体C同位素组成的分异,从而可以利用沉积物有机质中C同位素组成分析来鉴定有机质来源^[11].陆地、湖泊水体生物C:N:P:S比例的不同也能用于沉积物有机质来源的判别,一般陆地植物中C:N:P:S为882:9:1:0.6,而湖泊生物微粒中的C:N:P在100:12:1左右,海洋浮游生物中的C:N:P:S在106:16:1:17^[12].根据沉积物中碳水化合物的组成特征也可以用于沉积物有机质来源分析^[13,14],但对人为活动干扰严重的水体则不适用.而利用沉积物中总烃(TCH):总有机碳(TOC)比例可以判断人为活动干扰严重的水体沉积物中有机质来源^[15,16].

1.2 沉积物中有机质的特征

近年来有关沉积物中有机质特征的研究较少,其研究方法也主要采用土壤有机质的研究方法.一般认为,大多数沉积物有机质中腐殖质占有有机质总量的70%-80%,腐殖质以外的20%-30%的有机质主要由蛋白质类物质、多糖、脂肪酸和烷烃等组成^[17],但对于各种环境条件下沉积物有机质的组成特征仍缺乏系统的研究.

李振宇、朱荫涓^[18]用土壤分析中常用的Tyurin法对西湖沉积物中有机质进行了分组组成研究,发现西湖沉积物中有机质中脂类、富里酸、胡敏酸、胡敏素的百分比含量分别在3.7%-11.6%、8.0%-14.9%、11.6%-18.9%、59.0%-70.9%之间,属于典型的高腐殖程度沉积物.王文华等^[19]研究了北京昆明湖中不同旅游活动强度下的水体沉积物有机质特征,发现旅游活动强度大的水域的水体沉积物pH、Eh及有机质含量明显不同于旅游活动少的,沉积物有机质中分子量大于700(DA)的比例也明显高于后者,说明旅游活动提高了沉积物有机质的矿化程度.

Mornier等^[20]通过超滤法(Ultrafiltration)和紫外荧光法研究了南美Rio Negro盆地各种水体的有机质结构特征,发现TOC的荧光光谱强度与有机质颗粒大小无关,但其电移动性受有机质颗粒大小的影响.沉积物TOC的超滤分组特征及紫外荧光特征与当地气候、季节变化等外界条件特征有关,因而作者认为超滤分组特征和紫外荧光特征是河流、沉积物有机质的重要环境特征.

金相灿等人发现我国东部的黑龙江、松花江、黄河、长江、钱塘江、闽江等 27 条河流悬浮沉积物中有机质的含量及组成具有明显的地带性分布. 有机质的含量特征是南方、北方的河流都高, 中部河流的含量低, 呈现“V”字型分布. 腐殖酸含量则自北而南逐渐降低, 反映出水热条件的影响. 而富里酸/胡敏酸比值南方河流明显高于北方, 显示出南方高温多雨条件下, 悬浮沉积物中有机质腐殖化程度相对比较低的特点^[17].

1.3 沉积物中有机质的迁移

沉积物中有机质通过再悬浮进入水体而随河流迁移或为水生生物分解是沉积物有机质迁移的主要形式. Gale 和 Reddy^[6]研究中发现, 沉积物中通过再悬浮进入水体的 C 通量为 $720\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$, 而以 DOC 扩散形式进入水体的 C 通量仅为 $1\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$, 通过矿化为 CO_2 、 CH_4 、DIC (溶解性无机碳) 等形式释放的 C 通量也只有 $196\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$, 再悬浮而迁移的沉积物有机质在沉积物有机质总迁移量中占绝对优势.

沉积物中有机质通过河岸渗透进入其他水体的量一般很少, 且主要为难降解性有机质. Marmaonier 等^[21]研究了法国 Rhone 河沉积物有机质对河岸外侧地下水的影 响, 发现沉积物中生物可降解性水溶有机质 (BDOC) 浓度与沉积物中微生物酶活性关系密切, 在 BDOC 含量高的沉积物中微生物的活性明显增强, 从而有效地控制了 BDOC 类有机质向河岸两侧的扩散; 河岸对沉积物中难降解水溶有机质 (RDOC) 迁移则主要通过土壤胶体的物理吸附来控制; 生物降解作用和物理吸附作用相结合, 有效地控制了沉积物有机质通过河岸向河流两侧水体的迁移. Cosovic 等^[22]研究了一条严重污染的河流两岸 5 - 150m 处渗漏水中的有机质的组成特征, 发现通过河岸渗透出去的有机质主要是胡敏酸、富里酸等不易降解的有机质.

难溶性有机质地下扩散途径主要是通过土壤大孔隙进行的. 挪威 Skjervatjern 湖是一个封闭型的贫营养化湖泊, 但近年来发现湖底沉积物中的天然有机质含量周期性增高, G Riise^[23]研究发现, 周围土壤中有有机质通过地下大孔隙而渗漏到湖泊中是该湖沉积物中周期性出现的天然有机质浓度高峰的主要原因.

总体上对沉积物中有机质的研究都认为, 再悬浮是沉积物有机质迁移的主要途径, 而通过地下水渗漏等途径迁移的比例一般不大.

1.4 沉积物中有机质的矿化

沉积物中有机质的矿化受有机质结构特性、外界条件、生物作用等多方面因素的控制. 有机质中的糖类、简单烃类、脂类等最易矿化. Peters 和 Colwell^[24]发现河流沉积物中葡萄糖和谷氨酸的分解速度比酚类快近 10 倍. Bourbonniere 和 Meyers^[25]在研究美国 Huron 湖和 Michigan 湖的腐殖酸特征时发现, 沉积物有机质中糖类、烃类化合物的碱水解速度最快, 富里酸也比胡敏酸更容易发生水解作用而降解. Spiker 和 Hatcher^[26]研究发现在沉积物早期成岩中红树林沉积物 $\delta^{13}\text{C}$ 下降了 4%, 作者认为 ^{13}C -烃类比普通的 ^{12}C -烃类更易矿化, 认为这是造成沉积物 C 同位素分异的一个原因.

氧化还原条件是控制沉积物有机质矿化的主要因素. 沉积物中电子受体的使用顺序一般为: $\text{MnO}_2 > \text{O}_2 > \text{NO}_3^- > \text{Fe}(\text{OH})_3 > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$. 在无氧条件下, 有机质分解又可分为由不同微生物群落起主导作用的三个阶段. 第一阶段, 微生物对多聚糖进行水解, 形成脂肪酸和糖类等发酵水解中间体. 第二阶段, 水解产物被醋酸菌作用而产生醋酸和 H_2 . 第三阶段, 醋酸等有机碳在 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 等电子受体和相应细菌作用下彻底矿化成 CO_2 或 CH_4 ^[5].

D'Angelo 和 Reddy^[27]在研究一个接受了富营养化湖泊排水的湿地悬浮沉积物中有机质的矿化时发现,沉积物中有机质矿化时电子受体的使用顺序为: $O_2 > NO_3^- > SO_4^{2-}$ 。周启星、朱荫涓^[28]利用 $CO_2 + CH_4$ 释放通量作为沉积物矿化指标研究发现,西湖底泥在现有的供氧条件下矿化速率最低。提高氧水平,沉积物的 CO_2 释放通量增大,说明沉积物中耗氧微生物的活性增强,促进了沉积物有机质的分解;而降低 O_2 水平,沉积物的 CH_4 释放通量增大,说明促进了沉积物厌氧微生物的活性,同样促进了沉积物中有机质的矿化;提高或降低水体氧浓度,总体上都造成了有机质矿化速率的提高。

生物参与对有机质的矿化起至关重要的作用。Devai^[29]研究发现,欧洲 Balaton 湖中摇蚊幼虫的种群数量与湖泊水质及营养状况关系密切。摇蚊的发展可以有效地延缓水质的恶化过程,对控制天然水体富营养化起重要作用。Hansent 等人^[30]也发现,摇蚊幼虫对沉积物有机质的清除贡献巨大。添加摇蚊幼虫的底泥耗氧速率为摇蚊幼虫本身呼吸所需量的三倍,说明摇蚊幼虫的生长附带了大量相关微生物种群的发展,有效地加快了底泥有机质的分解。Toth 和 Zlinszky^[31]发现在微生物体死亡之后,控制生物呼吸活动的电子迁移酶的活性仍在,并且有细胞内迁移到细胞外,促进生物体自身的分解,这是沉积物中有机质矿化的一个重要机理。

污染状况、固化程度、沉积厚度都会对沉积物有机质的矿化产生影响。Machiwa^[32]发现污水排放点的红树林沉积物中有机质的矿化速率明显低于未受污水污染的,说明水质污染会降低沉积物有机质分解微生物的活性。Gale 等^[33]发现沉积物中有机质的生物可矿化顺序为:未固化腐殖酸 > 固化腐殖酸 > 泥炭,说明沉积物固化程度越高,有机质的矿化速率越慢。Morris 和 Bowden^[34]模拟了沉积物剖面上有机质的矿化,认为有机质矿化作用主要发生在表层 2cm 厚的沉积层中,2cm 以下沉积物中有机质的矿化速度小的几乎可以忽略,在 60cm 以下的沉积物中,只有最难矿化的有机质才会出现。

2 沉积物中有机质的环境效应研究

2.1 有机质对水体营养物质的影响

沉积物有机质是水体生物的主要营养源。Eckerrot 和 Petterson^[35]研究发现,湖泊沉积物孔隙水中可溶性活性 P(SRP)的浓度受沉积物有机质输入的影响,同时受 $Fe(II)$ 浓度、细菌活性及水深的影响。

D'Angelo 和 Reddy^[1]研究发现,沉积物中 $NH_4^+ - N$ 和可溶性 P 的释放通量是沉积物有机质矿化速率的函数。Newman 和 Reddy^[36]研究了沉积物控制有机 P 转化为无机 P 的碱性磷酸酶活性(APA)的影响因素,发现 APA 与沉积物 $p_e + pH$ 正相关,而与孔隙水中胡敏酸的浓度负相关。沉积物有机质含量会降低沉积物的 $p_e + pH$,从而对 P 的矿化产生抑制。

Gachter 和 Wehrli^[37]通过 10 年的湖底曝气,试图降低 2 个富营养化湖水中 P 的浓度,但并未达到预期的效果,原因与湖底富集的大量有机质的矿化释放有关。

2.2 沉积物有机质对有毒有机化合物环境行为的影响

沉积物有机质一方面对有毒有机化合物具有较强的吸附能力,大大降低了其生物毒性,但同时通过可溶性有机质的吸附,也增加了有毒有机化合物的环境迁移性。Ab-Razak 等人^[38]研究发现,沉积物中 PAHs 的分布主要受有机质的控制。Wu 等^[39]发现我国鸭儿湖中六六六的垂向分布主要受沉积物有机质含量及粒度分布的控制。

朱利中等^[40]研究了西湖底泥对苯胺、苯酚的吸附机理,发现西湖底泥对苯胺的吸附能力与底泥有机质含量成正比,其相关系数达 0.998. Karuppiah 等^[41]对河流沉积物中甲氧毒草剂(metolachlor)对费氏弧菌(*Vibrio fischeri*)的毒性,发现在水中该除草剂对费氏弧菌的 LC50 为 2.22%,而在河流沉积物中其毒性下降了 30 倍,在腐殖化程度更高的沼泽地沉积物中其对费氏弧菌的毒性全部丧失.

McKenzie 等^[42]研究了有机氯杀虫剂在澳大利亚维多利亚州的两条主要河流中的环境行为.发现 70% 以上的狄氏剂(dieldrin)被极易浮动的表层沉积物所吸附,河流水文特征成为决定狄氏剂在沉积物中分布的主要因素.绝大部分的 DDT 是同沉积物中大分子有机质结合.

Gao 等^[43]通过对杀虫剂在德国南部 Teufelsweiher 湖沉积物中分布的研究发现,沉积物中原位(On-site Koc)测得的杀虫剂 Koc 值比实验室测定值低许多.说明沉积物中 DOC 吸附了杀虫剂,导致杀虫剂在孔隙水中的浓度升高.这种“增溶效应”大大增加了杀虫剂在水体中的生物可利用性和再迁移能力. Drouillard 等^[3]通过 *H. limbata* 幼虫暴露法研究了 17 种 logKow 在 5.4-7.4 之间的憎水性有机氯化物(包括 PCB、HCB 等)的生物吸收系数及生物-沉积物富集系数(BSAFs),发现 logKow>5.9 的疏水性有机氯化物生物积累是通过生物对吸附了憎水性有机氯化物的沉积有机质的摄取而进行的.

2.3 沉积物有机质对重金属的环境行为的影响

Stone 和 Droppo^[44]研究了加拿大安大略省河流沉积物中重金属的分布时发现,在各粒径范围内的沉积物中,有机质结合态都是 Zn、Pb 等重金属的主要存在形态. Ghosh 和 Banerjee^[45]研究了沉积物、土壤和废水三种来源的胡敏酸与 Cu、Cd、Pb 的络合能力.发现其络合强度顺序为:Cu-HA>Pb-HA>Cd-HA,络合强度随沉积物 pH 的增加和离子强度的下降而增大.其中沉积物来源的胡敏酸络合能力远大于废水来源的胡敏酸.

Wallschlagel 等^[2]系统研究了河流沉积物中有机质对 Hg 的地球化学行为的影响.发现沉积物有机质对 Hg 在河流-土壤系统中的地球化学行为起决定性作用.有机质控制了 Hg 的结合态、形态转化、迁移过程,Hg 与水溶性胡敏酸结合是 Hg 在河流中迁移的重要形式. Riise^[23]也发现颗粒有机质携带是重金属通过地下渗透而进入挪威 Skjervatjern 湖泊沉积物的主要途径,其中 Fe、Al、Pb、Sm、La、Ce、Eu 等阳离子主要与分子量在 10kDa 以上的有机质结合,而 V、As 等的含氧阴离子则主要与分子量 3kDa 以下的有机物结合. Derveer 和 Canton^[46]建立了一个关于沉积物中 Se 的溶解迁移与沉积物有机质含量之间的定量关系式. Tack 等^[46]研究了水体氧化时沉积物重金属的移动性变化,发现在上覆水变为氧化条件后,沉积物中 Cd、Cu、Pb 的活性大为增强,原因可能是沉积物有机质矿化分解后,重金属活性增加.

Warren 等^[48]研究了沙质沉积物、富铁氧化物沉积物、富有机质沉积物中 Cu 对水稻萌芽的影响.发现有机质控制了沉积物中 Cu 的生物可给性,相比之下,铁氧化物对 Cu 的生物可给性影响很小.

沉积物中有机质的存在一般都可以降低重金属的生物毒性. Young 和 Harvey^[49]研究发现,摇蚊中 Mn、Al、Fe 含量与沉积物有机质含量负相关. Besser 和 Kubitz^[50]研究发现,尽管湖泊孔隙水中 Cu 含量与有机质含量正相关,但摇蚊幼虫的死亡率却难以用孔隙水 Cu 含量解释. Call 等^[51]研究发现,沉积物孔隙水中 AgNO₃ 对摇蚊的 LC50 浓度比纯水中高出 275 倍,说明孔隙水中相当一部分 Ag 被溶解性有机质络合而大大降低了生物毒性.

2.4 沉积物有机质矿化中温室气体、破坏臭氧层气体的释放

沉积物有机质矿化过程中会产生大量的 CO_2 、 CH_4 等温室气体. Keppler 等^[4]研究了沉积物天然有机质矿化过程中产生破坏臭氧层物质挥发性卤代有机化合物(VHOC)的机理. 在天然有机质被 Fe^{3+} 等电子受体氧化过程中,若同时存在 Cl^- 、 Br^- 、 I^- 等卤素离子,这会产生卤代甲烷等挥发性卤代化合物.

2.5 环境信息记录

Tenzer 等^[52]利用美国 Michigan 和 Ontario 湖交界处的河流沉积物中有机质研究了近 200 年来人类活动的环境记录. 研究发现过去 200 年中河流沉积物中有机质的含量由 0.5% 增至 4%,有机质的累积速率增加了 4 倍. 通过沉积物中的 C:N 分析发现沉积物中有机质的增加主要是陆源有机质增加所致. 沉积物中 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的变化与近 200 年来当地的环境变化相吻合. 反映在水体藻类生产力的下降和有机质外源输入的增加上. 沉积物中的石油烃类是自 1900 年以后才出现的,反映出该地区人为活动的加强.

参 考 文 献

- 1 D' Angelo E M, Reddy K R. Diagenesis of organic matter in a wetland receiving hypereutrophic lake water: I. Distribution of dissolved nutrients in the soil and water column. *J Environ Qual*, 1994, 23(5):928-936
- 2 Wallschläger D, Desai M V M, Spengler M, et al. How humic substances dominate mercury geochemistry in contaminated floodplain soils and sediments. *J Environ Qual*, 1998, 27(5): 1044-1054
- 3 Drouillard K G, Ciborowski J J H, Lazar R, et al. Estimation of the uptake of organochlorines by the mayfly *Hexagenia limbata* (Ephemeroptera; Ephemeridae). *J Great Lakes Res*, 1996, 22(1):26-35
- 4 Keppler F, Eiden R, Niedan V, et al. Halocarbons produced by natural oxidation processes during degradation of organic matter. *Nature*, 2000, 403:298-301
- 5 陈文新主编. 土壤和环境微生物学. 北京:北京农业大学出版社,1990. 75-78
- 6 Gale P M, Reddy K R. Carbon flux between sediment and water column of a shallow, subtropical, hydroeutrophic lake. *J Environ Qual*, 1994, 23(5):965-972
- 7 Albuquerque A L S, Moazato A A. C:N:P ratios and stable carbon isotope compositions as indicators of organic matter sources in a riverine wetland system (Mojí-guaçu river, São Paulo-Brazil). *Wetlands*, 1997, 17(1):1-9
- 8 Howarth R W, Fruci J R, Sherman D. Inputs of sediment and carbon to an estuarine ecosystem: influence of land use. *Biological Applications*, 1991, 1(1):27-39
- 9 国家环境保护局科技标准司主编. 湖泊污染控制技术指南. 北京:中国环境科学出版社,1997. 3-5
- 10 金相灿,屠清瑛主编. 湖泊富营养化调查规范. 北京:中国环境科学出版社,1990. 8
- 11 中国科学院地球化学研究所编. 高等地球化学. 北京:科学出版社,1998
- 12 万国江编著. 环境质量的地球化学原理. 北京:中国环境科学出版社,1988. 196
- 13 Covie G L, Hedges J I. Carbohydrate sources in a coastal marine environment. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1984, 48: 2075-2087
- 14 Moers M E C, Larter S R. Neutral monosaccharides from a hypersaline tropical environment: applications to the characterization of modern and ancient ecosystems. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1993, 57:3063-3071
- 15 Pacz-Osuna F, Bojorquez-Leyua H, Green-Ruiz C. Total carbohydrates: organic carbon in lagoon sediments as an indicator of organic effluents from agriculture and sugar-corn industry. *Environ Pollut*, 1998, 102:321-326
- 16 Vivian C M G. The total carbohydrate: organic carbon ratio as an indicator of sewage-derived organic matter in Burbo Bight sediment, Liverpool Bay, U K. *Environ Pollut*, 1987, 46:105-118
- 17 金相灿主编. 沉积物污染化学. 北京:中国环境科学出版社,1992:26-27, 72-74

- 18 李振宇,朱荫溥. 西湖沉积物有机质特征. 环境化学, 1999, 18(2):122-126
- 19 王文华,王淑琴,徐维井等. 北京昆明湖底泥中有机物的表征. 环境科学学报, 1995, 15(2):178-185
- 20 Mornier S, Braucher R, Benaim J Y. Differentiation of organic matter's properties of the Rio Negro basin by cross-flow ultra-filtration and UV-spectrofluorescence. *Water Res.* 1999, 33(10):2363-2373
- 21 Marmonier P, Fontvieille D, Gibert J, et al. Distribution of dissolved organic carbon and bacteria at the interface between the Rhone River and its alluvial aquifer. *Journal of the North American Benthological Society*, 1995, 14(3):382-392
- 22 Cosovic B, Hrsak D, Vojvodic D, et al. Transformation of organic matter and bank filtration from a polluted stream. *Water Res.* 1996, 30(12):2921-2928
- 23 Riise G. Transport of NOM and trace metals through macropores in the lake Skjervatjern catchment. *Environ Intern.* 1999, 25(2-3):325-334
- 24 Peters G T, Colwell F S. Effects of stream order and season on mineralization of ^{14}C -phenol in streams. *Hydrobiologia*, 1989, 174(1):79-87
- 25 Bourbonniere R A, Meyers P A. Characterization of sedimentary humic mater by alkaline hydrolysis. *Organic Geochemistry*, 1983, 5(3):131-142
- 26 Spiker E C, Hatcher P G. Carbon isotope fractionation of sapropelic organic matter during early diagenesis. *Organic Geochemistry*, 1984, 5(4):283-290
- 27 D' Angelo E M, Reddy K R. Diagenesis of organic matter in a wetland receiving hypereutrophic lake water: II. Role of inorganic electron acceptors in nutrient release. *J Environ Qual*, 1994, 23(5):937-943
- 28 周启星,朱荫溥. 西湖底泥不同供氧条件下有机质降解及 CO_2 与 CH_4 释放速率的模拟研究. 环境科学学报, 1999, 19(1):11-15
- 29 Devai G. Ecological background and importance of the change of chironomid fauna (Diptera: Chironomidae) in shallow Lake Balaton. *Hydrobiologia*, 1990, 191:189-198
- 30 Hansen K, Mouridsen S, Kristensen E. The impact of Chironomus plumosus larvae on organic matter decay and nutrient (N, P) exchange in a shallow eutrophic lake sediment following a phytoplankton sedimentation. *Hydrobiologia*, 1997, 364(1):65-74
- 31 Toth L G, Zlinszky J. The importance of self-oxidation in decomposition and its dependence on the pH of the environment. *Water Air Soil Pollut*, 1989, 46(1-4):213-219
- 32 Machiwa J F, Olafsson E. Distribution and remineralization of organic carbon in sediments of a mangrove stand partly contaminated with sewage waste. *AMBIO*, 1998, 27(8):740-744
- 33 Gale P M, Reddy K R, Graetz D A. Mineralization of sediment organic matter under anoxic conditions. *J Environ Qual*, 1992, 21(3):394-400
- 34 Morris J T, Bowden W B. A mechanistic, numerical model of sedimentation, mineralization, and decomposition for marsh sediments. *Soil Sci Soc America J*, 1986, 50(1):96-105
- 35 Eckert A, Pettersson K. Pore water phosphorus and iron concentrations in a shallow, eutrophic lake-indications of bacterial regulation. *Hydrobiologia*, 1993, 253(1-3):165-177
- 36 Newman S, Reddy K R. Alkaline phosphatase activity in the sediment-water column at a hypereutrophic lake. *J Environ Qual*, 1993, 22(4):832-838
- 37 Gachter R, Wehrli B. Ten years of artificial mixing and oxygenation; no effect on the internal phosphorus loading of two eutrophic lakes. *Environ Sci Tech*, 1998, 32(3):3659-3665
- 38 Ab-Razak I A, Li A, Christensen E R, et al. Association of PAHs, PCBs, 137Cs, and 210Pb with clay, silt, and organic carbon in sediments. *Water Sci Tech*, 1996, 34(7-8):29-35
- 39 Wu W Z, Schramm K W, Henkelmann B, et al. PCDD/Fs, PCBs, HCHs and HCB in sediments and soils of Ya-Er Lake area in China: results on residual levels and correlation to the organic carbon and the particle size. *Chemosphere*, 1997, 34(1):191-202
- 40 朱立中,徐霞,胡松等. 西湖底泥对水中苯胺、苯酚的吸附性能及机理. 环境科学, 2000, 20(2):28-31

- 41 Karuppiah M, Liggans G, Gupta G, *et al.* Effect of river and wetland sediments on toxicity of metolachlor. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1997, **36**(2):180-182
- 42 McKenzie S F, Tiller D, Allen D. Organochlorine pesticide residues in water and sediments from the Ovens and King rivers, north-east Victoria, Australia. *Arch Environ Contamination Toxicol*, 1994, **26**(4):483
- 43 Gao J P, Maguhn J, Spitzauer P, *et al.* Distribution of pesticides in the sediment of the small Teufelsweiber pond (Southern Germany). *Water Res*, 1997, **31**(11):2811-2819
- 44 Stone M, Droppo I G. Distribution of lead, copper and zinc in size-fractionated river bed sediment in two agricultural catchments of southern Ontario. *Canada Environ Pollut*, 1996, **93**(3):353-362
- 45 Ghosh R, Banerjee D K. Complexation of trace metals with humic acids from soil, sediment and Sewage. *Chemical Speciation and Bioavailability*. 1997. **9**(1):15-19
- 46 Van Derveer W D, Canton S P. Selenium sediment toxicity thresholds and derivation of water quality criteria fro freshwater biota of western streams. *Environ Toxicol Chem*, 1997, **16**(6):1260-1268
- 47 Tack F M, Callewaert O W J J, Verloo M G. metal solubility as a function of pH in a contaminated dredged sediment affected by oxidation. *Environ Pollut*, 1996, **91**(2):199-208
- 48 Warren L A, Outridge P M, Zimmerman A P. Geochemical partitioning and bioavailability of copper to aquatic plants in an artificial oxide-organic sediment. *Hydrobiologia*, 1995, **304**(3):97-207
- 49 Young L B, Harvey H H. Metal concentrations in *chironomids* in relation to the geochemical characteristics of surficial sediments. *Arch Environ Contamin and Toxicol*, 1991, **21**(2):202-211
- 50 Besser J M, Kubitz J A, Ingersoll C G, *et al.* Influences on copper bioaccumulation, growth, and survival of the midge, *Chironomus tentans*, in metal-contaminated sediments. *J Aquatic Ecosystem Health*, 1995, **4**(3):157-168
- 51 Call D J, Polkinghorne C N, Markee T P, *et al.* Silver toxicity to *Chironomus tentans* in two freshwater sediments. *Environ Toxicol Chem*, 1999, **18**(1):30-39
- 52 Tenzer G E, Meyers P A, Robbins J A, *et al.* Sedimentary organic matter record of recent environmental changes in the St. Marys River ecosystem, Michigan-Ontario border. *Organic Geochemistry*, 1990, **30**(2-3):133-146

A Review of Geochemical Behaviors and Environmental Effects of Organic Matter in Sediments

ZHU Guangwei CHEN Yingxu

(Department of Environmental Engineer, Zhejiang University, Hangzhou 310029, P. R. China)

Abstract

Sediments is an important sink and sources of pollutants and nutritive elements, such as heavy metals, organic toxicants, phosphorus, nitrogen, and carbon. In the sediments, organic matter is the key factor to control the environmental behaviors of these substances. In this paper, the studies in the geochemistry behaviors of organic matter in sediments, and its effects on the behaviors of heavy metals, organic toxicants, phosphorus and carbon in sediments were reviewed. The effect of organic matter on the eutrophication of fresh water, ecological toxicology of heavy metals and organic compounds, and the release of greenhouse gas from fresh water were discussed, too.

Key Words Organic matter, sediment, geochemistry, environmental pollution