

水库汞生物地球化学循环研究进展

蒋红梅^{1,2}, 冯新斌¹

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2. 重庆交通科研设计院, 重庆 400067)

摘要: 对近年来国内外有关水库汞生物地球化学循环的研究现状进行了综述, 主要从基质释汞行为、汞释放对水体的影响、汞在水库水生食物链中的迁移富集和水库对河流汞输送的影响等四个方面进行了探讨, 并指出该领域研究工作的薄弱环节及发展方向。

关键词: 汞; 水库; 生物地球化学循环

中图分类号: X524; G353.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2007)03-0462-06

自 20 世纪 70 年代有研究者报道水库内鱼体甲基汞含量普遍高于相邻自然湖泊的现象以来^[1-3], 科学家们便对汞在水库这个特殊的人工水环境中的迁移、转化以及通过水生食物链富集放大等生物地球化学行为进行了广泛研究^[4-6], 确认水库内存在汞“活化效应”, 是一个典型的“汞敏感生态系统”。迄今, 几乎所有的研究均指出新建水库内肉食性鱼甲基汞含量往往超过世界卫生组织建议的食用标准(0.5 mg/kg)^[7-9], 且这种甲基汞污染现象一般要持续 20~30 年^[10]。据统计, 全世界水库蓄水面积已超过 $1.5 \times 10^{12} \text{ m}^2$ ^[11], 因兴建水库而引起的鱼体甲基汞污染问题逐渐趋于全球化。

1 不同基质向水体释汞行为的研究

大量研究显示, 被淹没土壤和植被是水库鱼体甲基汞增高的重要来源^[12]: 一方面, 被淹没的土壤和植被在腐解过程中主动或被动地将甲基汞释放到水库生态系统中^[13]; 另一方面, 被淹没土壤和植被的腐解使水库底部形成厌氧环境^[14], 有利于无机汞从被淹没土壤和植被中溶解出来, 从而为甲基化反应提供充裕的、可供甲基化的无机汞^[15]。同时, 被淹没的土壤有机质和植被的腐解释放出大量营养物质, 为微生物提供了丰富的食物来源, 使硫酸盐还原菌等甲基化细菌大量繁殖, 促进无机汞向甲基汞转化^[10,16]。可见, 被淹没土壤和植被中无机汞向甲基汞转化的过程无疑是“水库效应”研究中最重要、最令人关注的过程。

研究表明, 土壤和植被在被淹没后向水体释汞的行为和能力有显著差异^[17,18]。植被在被淹没后会迅速向水体释放汞和甲基汞, 但甲基汞的释放量与总汞释放量之间没有相关性^[18], 甲基汞的释放速率与有机质分解速率之间也没有必然联系^[19]。与植被相比, 土壤有机质的释汞行为更具有连续性和稳定性。土壤有机质已经过一定程度的降解, 剩余部分相对难以降解, 因而降解速度较慢, 向水体释汞也相对缓慢。一般情况下, 总汞释放量高的土壤, 甲基汞释放量也相对较高^[18]; 有机质丰富的土壤甲基汞释放量高于有机质相对较低的土壤。但有研究发现, 有机质丰富的土壤去甲基化速率也同样较高^[20,21]。土壤被淹没后释放的汞只占被淹没土壤中总汞量的很小一部分, 故土壤被淹没后向水体的释汞行为对其本身总汞含量无明显影响^[22], 而被淹没土壤中甲基汞含量以及甲基汞占总汞的比例均会显著上升^[23]。但有研究指出水库底部沉积物中大量通过微生物甲基化产生的甲基汞非常稳定, 不易释放到水体^[24]。

不同环境因子对基质(土壤和植被)释汞行为也有影响。较高的温度有利于基质中汞的释放^[18]。如, 较浅水库中沉积物温度在夏季增长较快, 有利于沉积物的微生物甲基化过程; 与此相反, 深水水库沉积物温度较

收稿日期: 2006-02-06; 修订日期: 2006-05-20

基金项目: 中国科学院“百人计划”资助项目; 国家自然科学基金资助项目(40532014)

作者简介: 蒋红梅(1976-), 女, 重庆人, 博士, 主要从事环境地球化学研究。E-mail: jianghongmei@ccrdi.cmhk.com

低, 则更有利于去甲基化过程^[25]。虽然, 微生物甲基化过程主要在厌氧环境下进行, 但模拟实验表明, 厌氧条件并没有促进甲基汞的释放, 反而还有削弱作用^[18], 这一现象有待进一步探讨。水库的初级生产力对基质甲基汞的释放能力也有影响。水库淹没后, 被淹没的土壤和植物中的有机质分解产生大量营养物质释放到水体, 使浮游生物大量繁殖, 从而使整个水库初级生产力水平提高^[6]。这些浮游生物死亡后会沉降至水库底部, 迅速降解并释放出大量的营养物质, 提高表层沉积物中微生物的活性^[26], 从而促进微生物甲基化过程。

2 水库淹没区汞释放对水体的影响

对同一水体而言, 鱼体汞浓度通常比水体汞浓度要高 6 个数量级^[27], 因此水库淹没后水体中甲基汞浓度的微弱增加可能会导致鱼体甲基汞浓度的显著升高。然而, 由于天然水体中汞含量极低(ng/L 级), 形态多样且极不稳定, 加之在采样、样品保存和前处理过程中稍有不慎便可能造成汞污染。直到 20 世纪 80 年代末, 随着天然水体中超痕量不同形态汞分析方法的建立, 能准确可靠的辨别出水库淹没前后水体中汞和甲基汞浓度的差异后, 有关水库淹没后被淹没基质释汞(甲基汞)对水体中汞和甲基汞含量影响的报道才逐渐增多^[5,10]。对甲基汞而言, 几乎所有研究均认为水库水体中甲基汞含量会显著高于相邻的自然湖泊^[28]以及建库前河水^[5]中甲基汞含量。同时, 水库水体中甲基汞占总汞的比例也会大幅度上升^[5,28]。但对总汞的报道却不一致, 有人认为水体中总汞含量没有明显变化^[5,29], 而 Montgomery 等发现水库水体中溶解态总汞含量比作为对照的自然湖泊中溶解态总汞高 1.5 倍^[28]。

对于水体甲基汞增高的持续时间也作了大量的研究。Kelly 等发现水库淹没 6 年之后水体中甲基汞含量仍保持较高的水平^[5], Brigham 等发现淹没 10 年以上的水库水体中甲基汞含量仍高于作为对照的自然湖泊^[29]。而 Montgomery 等对不同年龄水库(2 个月至 69 年)以及自然湖泊中水体溶解态汞和溶解态甲基汞的含量进行了系统的调查, 发现水库淹没 17 年后溶解态总汞水平才会恢复至本底水平; 而具有 18 年库龄的水库水体中溶解态甲基汞仍为自然湖泊中的 5 倍, 直到 69 年后水体中溶解态甲基汞才会恢复至本底水平^[28]。可见, 不同地区、不同类型水库水体甲基汞增高的持续时间有显著的差异, 这方面的工作有待于进一步加强。

水库与自然湖泊在湖沼学上具有一定的相似性, 因此, 水库内汞的生物地球化学行为在一定程度上与自然湖泊相似。同湖泊一样, 水库水体中汞浓度也受温度、溶解氧、pH、Eh、DOC 以及其它物理化学参数的影响。如水库在出现季节性分层时, 厌氧滞水层(hypolimnion)中也会有甲基汞的生成^[30], 再加上厌氧环境有利于沉积物间隙水中甲基汞向水体释放^[31], 因此, 水库水体通常表现为在温度较高的季节甲基汞含量也较高^[28]。但水库水量的人为调节方式使其在水力停留时间、水体稀释能力等方面显著区别于自然湖泊, 因此, 不同水库内甲基汞含量受环境因子的影响程度不同。如 Montgomery 等将水库水体中溶解态甲基汞与水体中溶解氧、温度、pH、DOC、DIC、叶绿素 a 等 9 个物理化学参数回归后发现, 不同的水库之间水体甲基汞含量受不同的环境因子影响, 但总体上水库水体甲基汞含量受控于水库的水力停留时间^[28]。其它的研究也表明, 水库水体中甲基汞含量取决于水库的换水频率、稀释程度以及淹没后水库的运行历史^[17,28]。显然, 水库生态系统明显区别于湖泊系统。

3 汞在水库水生食物链中的迁移、富集

对于汞在水库水生食物链中的迁移、富集已进行了大量的研究, 并取得了丰硕的成果。概括起来, 这些研究主要分为鱼体高甲基汞含量的持续时间和甲基汞在食物链中的富集途径两大类。

水库淹没后, 水库中浮游动物^[32]、鱼体^[9,32-35]以及昆虫体内甲基汞的含量均普遍升高^[5,6,32,36]。这些生物体内甲基汞含量会在相当长的时间内持续上升, 达到某个峰值后, 随着被淹没土壤中能被甲基化的“活性”无机汞逐渐消耗殆尽而逐渐下降^[9,37]。因此, 年轻水库中鱼体甲基汞含量一般高于年龄较老的水库^[9,38]。时至今日, 对于水库鱼体甲基汞增高的持续时间尚未有定论^[9,17], 不同区域水库、不同鱼类之间鱼体高甲基汞含量持

续时间差异十分明显^[37]。在马尼托巴北部地区发现鱼体汞在 3~5 年后便可恢复至本底水平^[12], 也有学者认为对非肉食性鱼而言, 鱼体汞含量在 5~10 年后便可恢复至淹没之前的本底水平, 而肉食性鱼体汞含量仍然持续攀高, 并成上升趋势^[9]。然而, 在加拿大 Shield 地区水库进行的研究则表明, 许多水库鱼体汞含量要经过 20~30 年才可恢复至淹没前的水平^[9,13,38]。除水库库龄外, 还有许多因子会影响水库鱼体汞的恢复时间, 如流域特征(被淹没土壤面积、土壤汞含量、土壤类型、有机质含量)^[37,39], 水库生产力、物理化学参数(如 pH 等)^[40], 水库运行方式(水位下降情况、水力停留时间以及温度体系)^[13]、鱼的年龄和营养地位^[41]等等。

通常鱼可直接从水体吸入或摄入食物两种方式富集甲基汞。但研究发现鱼从水体直接吸入的甲基汞量十分有限^[28], 其甲基汞主要来源于摄入食物^[42]。

同自然湖泊一样, 水库鱼体汞含量也受水库水体 pH、DOC 等环境因子的影响。总体看来, 鱼体汞含量与水库水体 pH 成负相关关系^[9,38,39]。这主要是因为低 pH 值水体中, DOC 很少以负电荷状态存在, 不易与汞结合在一起, 使汞的生物有效性增加^[43]。鱼体甲基汞含量与 DOC 之间的关系认识尚不统一, 有人认为鱼体甲基汞含量与水体中 DOC 浓度呈负相关关系^[44]; 但是也有呈正相关关系的报道^[45]。

4 水库对河流汞输送的影响

现有的有关水库汞“活化效应”的研究绝大多数是针对汞在水库系统内的迁移转化等方面, 而就建库后水库对河流生态系统汞生物地球化学行为影响的研究则相对较少。

研究表明, 修建水库后, 水库的存在可能成为上游河流汞输送的重要的“汇”^[46]; 但水库也可能成为下游水体甲基汞的“源”^[21,30]。Canavan 等研究发现水库厌氧分层时, 其下泄水甲基汞含量显著上升^[30]; 而 St. Louis 等则对一个泥炭地淹没前后向下游输送甲基汞量及其变化规律进行了对比研究, 发现淹没之前该泥炭地向下游输送甲基汞量为 $1.7 \text{ mg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 淹没之后的第一年内输送量增加了 40 倍, 升至 $70 \text{ mg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 随着时间的推移输送量降至 $10 \sim 50 \text{ mg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 但仍高于淹没之前的水平^[21]。

同时由于水库特殊的泄水方式(底层泄水), 水库厌氧滞水层中的甲基汞会以溶解态或以有机碎屑、浮游动物等颗粒态形式被释放到下游水体, 从而在水库下游水生食物链中迁移富集。Schetagne 等^[47]对水库向下游水体输送的甲基汞的形式进行了详细的研究, 发现向下游水体输送的甲基汞中溶解态、悬浮颗粒态和生物体形式各占 64.3%、33.2% 和 2.5%(浮游动物占 1.54%、浮游植物占 0.85%), 而以库底无脊椎动物和细小鱼类迁移的甲基汞可以忽略。研究表明, 不仅水库下游水体中溶解态甲基汞含量会高于水库上游水体^[23], 与水库距离较远的下游水体中非肉食性鱼体甲基汞含量也明显上升^[10]或高于水库上游^[9,48]。其中, 位于 Robert-Bourassa 水库水电站出水口下的非肉食性鱼体(non-piscivorous fish)甲基汞含量甚至高于水库内同种类鱼体甲基汞含量^[9,47]。

国内研究者也在此领域进行了相关研究。Jiang 等^[49]在乌江流域的研究中对有关水库对河流汞输送的影响进行了初步探讨, 并认为水库的存在会显著降低河水中的汞浓度, 但泄洪等水库行为会显著增加水库下游河水中的汞浓度。初步显示水库的存在会显著改变河流原有的汞的生物地球化学过程, 可能使河流输送的汞在通量、形态组成以及空间分布上发生变化。

可见, 河流生态系统也会受到水库汞活化效应的影响。

5 展 望

中国是水库大国, 目前仅长江流域内已建成了 4.8 万座水库, 其中大型水库 137 座^[50], 而长江三峡水利工程则是最新的令人印象深刻的例子。此外, 我国的水库多为梯级水库, “源”“汇”效应极其复杂。现有的研究表明, 我国长江三峡库区蓄水后可能发生土壤汞活化导致的鱼体汞污染问题^[34,35], 但是我国对水库中汞的甲基化等过程和梯级开发“蓄水河流”流域生态系统中汞的生物地球化学循环及其生态环境效应的系统研究基本未见报道。

即使在国际学术界,水库中汞的甲基化机理目前仍不是十分清楚,虽已知道被淹没土壤是甲基汞的主要来源,但就淹没土壤中不同形态汞被甲基化的能力是否一致、具体是何种微生物是主要的汞甲基化贡献者等这些问题还认识不清楚^[51]。因此,急需开展“人工水库”对河流汞输送以及流域输送汞在水库内的滞留、迁移和多级利用等问题的研究,以评价水库演化所伴随的汞的环境生态问题。

参考文献:

- [1] Smith F A, Sharma R P, Lynn R I, *et al.* Mercury and selected pesticide levels in fish and wildlife of Utah: I Levels of mercury, DDT, DDE, Dieldrin and PCB in fish[J]. *Environ Toxicol Chem*, 1974, 12: 218 - 223.
- [2] Abernathy A R, Cumbie P M. Mercury accumulation by largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in recently impounded reservoirs[J]. *Environm Cont Tox*, 1977, 17: 595 - 602.
- [3] Cox J A, Carnahan J, Dinuzio J, *et al.* Source of mercury in fish in new impoundments[J]. *Environm Cont Tox*, 1979, 23: 779 - 783.
- [4] Heyes A, Moore T R, Rudd J W M, *et al.* Methylmercury in pristine and impounded boreal peatlands, experimental lakes area, Qntario[J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 2000, 57(11): 2211 - 2222.
- [5] Kelly C A, Rudd J W M, Bodaly R A, *et al.* Increases in fluxes of greenhouse gases and methylmercury following flooding of an experimental reservoir[J]. *Environ Sci Technol*, 1997, 31: 1334 - 1344.
- [6] Tremblay A, Cloutier L, Lucotte M. Total mercury and methylmercury fluxes via emerging insects in recently flooded hydroelectric reservoirs and a natural lake[J]. *Sci Tot Environ*, 1998, 219: 209 - 221.
- [7] Bergkamp G, McCartney M, Dugan P, *et al.* Dams, ecosystem functions and environmental restoration[Z]. Thematic reviews II 1, World Commission of Dams, Cape Town, www.dams.org, 2000.
- [8] Friedl G, Wüest A. Disrupting biogeochemical cycles-Consequences of damming[J]. *Aquat Sci*, 2002, 64:55 - 65.
- [9] Verdon R, Brouard D, Demers C, *et al.* Mercury evolution 1978 - 1988 in fishes of the La Grande Hydroelectric Complex, Quebec Canada [J]. *Water Air Soil Pollut*, 1991, 56: 405 - 417.
- [10] Bodaly R A, St. Louis V L, Paterson M J, *et al.* Bioaccumulation of mercury in the aquatic food chain in newly flooded areas[A]. In Sigel A, Sigel H, (eds), *Metal ions in biological systems: Mercury and its effects on the environment and biology*[C]. Marcel Dekker, New York, NY. 1997.
- [11] St Louis V L, Kelly C A, Duchemin E, *et al.* Reservoir surfaces as sources of greenhouses gases to the stmosphere: A global estimate[J]. *Bioscience*, 2000, 50(9): 766 - 775.
- [12] Jackson T A. The mercury problem in recently formed reservoirs of northern Manitoba (Canada): effects of impoundment and other factors on the production of methylmercury by microorganisms in sediments[J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1988, 45: 97 - 121.
- [13] Verta M, Rekolainen S, Kinnunen K. Causes of increased fish mercury levels in Finnish reservoirs[M]. *Publications of Water Research Institute, National Board of Waters Finland*, 1986. 65.
- [14] Fearnside P M. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia[J]. *Environ. Manag*, 2001, 27: 377 - 396.
- [15] Cossa D, Gobeil C. Mercury speciation in the lower St Lawrence estuary[J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 2000, 57 (Suppl 1): 138 - 147.
- [16] Heyes A, Moore TR, Rudd JWM. Mercury and methylmercury in decomposing vegetation of a pristine and impounded wetland[J]. *J Environ Qual*, 1998, 27: 591 - 599.
- [17] Morrison K A, Thérien N. Release of organic carbon, Kjeldahl nitrogen and total phosphorus from flooded vegetation[J]. *Water Qual Res J Can*, 1996, 31: 305 - 318.
- [18] Thérien N, Morrison K. In vitro release of mercury and methylmercury from flooded organic matter[A]. In: Lucotte M, Schetagne R, Therien N, *et al* (ds), *Mercury in the biogeochemical cycle: natural environments and hydroelectric reservoirs of northern Québec*[C]. Berlin, New York, Springer. 1999.
- [19] Hall B D, St Louis V L, Bodaly R A. The stimulation of methylmercury production by decomposition of flooded birch leaves and jack pine needles[J]. *Biogeochemistry*, 2004, 68: 107 - 129.
- [20] Ramlal P S, Rudd J W M, Hecky R E. Methods for measuring specific rates of mercury methylation and degradation and their use in determin-

- ing factors controlling net rates of mercury methylation[J]. *Appl Environ Microbiol*, 1986, 51:110 - 114.
- [21] St Louis V L, Rudd J W M, Kelly C A, *et al.* The rise and fall of mercury methylation in an experimental reservoir[J]. *Environ Sci Technol*, 2004, 38:1348 - 1358.
- [22] Grondin A, Lucotte M, Mucci A, *et al.* Mercury and lead profiles and burdens in soils of Québec (Canada) before and after flooding[J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1995, 52: 2493 - 2506.
- [23] Lucotte M, Montgomery S, Begin M. Mercury dynamics at the flooded soil-water interface in reservoirs of Northern Quebec: in situ observations[A]. In: Lucotte M, Schetagne R, Therien N, *et al.* (eds), *Mercury in the Biogeochemical Cycle, Natural Environments and Hydroelectric Reservoirs of Northern Quebec*[C]. Berlin, New York, Springer, 1999.
- [24] Montgomery S, Mucci A, Lucotte M. The application of in situ dialysis samples for close interval investigations of total dissolved mercury in interstitial waters[J]. *Water Air Soil Pollut*, 1996, 87: 219 - 229.
- [25] Ramlal P S, Kelly C A, Rudd J W M, *et al.* Site of methylmercury production in remote Canadian Shield lakes[J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1993, 50: 972 - 979.
- [26] Duchemin é, Lucotte M, Canuel R. Source of organic matter responsible for greenhouse gas emissions from hydroelectric complexes of the boreal region[A]. *Fourth International Symposium on the Geochemistry of the Earth's Surface*[C]. Ikley, UK, 1996.
- [27] Watras C J, Bloom N S. The vertical distribution of mercury species in Wisconsin lakes: accumulation in plankton layers[A]. In: Watras C J, Huchabee J W (eds), *Mercury Pollution-Integration and Synthesis*[C]. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 1994.
- [28] Montgomery S, Lucotte M, Rheault I. Temporal and spatial influences of flooding on dissolved mercury in boreal reservoirs[J]. *Sci Tot Environ*, 2000, 260:147 - 157.
- [29] Brigham M E, Krabbenhoft D P, Olson M L, *et al.* Methylmercury in flood-control impoundment and natural waters of Northwestern Minnesota, 1997 - 1999[J]. *Water Air and Soil Pollut*, 2002, 138: 61 - 78.
- [30] Canavan C M, Caldwell C A, Bloom N S. Discharge of methylmercury-enriched hypolimnetic water from a stratified reservoir[J]. *Sci Tot Environ*, 2000, 260:159 - 170.
- [31] Gagnon C, Pelletier E, Mucci A, *et al.* Diagenetic behaviour of methylmercury in organic-rich coastal sediments[J]. *Limnol Oceanogr*, 1996, 41(3): 428 - 434.
- [32] Paterson M J, Rudd J W M, St Louis V. Increases in total and methylmercury in zooplankton following flooding of a peatland reservoir[J]. *Environ Sci Technol*, 1998, 32: 3868 - 3874.
- [33] Kehrig H A, Malm O, Akagi H, *et al.* Methylmercury in Fish and Hair from Balbina Reservoir, Brazilian Amazon[J]. *Environ Res*, 1998, 77: 84 - 90.
- [34] 徐小清, 肖定帮, 方涛, 等. 三峡库区非线性延迟的环境效应及其防治对策[J]. *长江流域资源与环境*, 2002, 11(1): 74 - 78.
- [35] 徐小清, 丘昌强, 邓冠强, 等. 三峡库区汞污染的化学生态效应[J]. *水生生物学报*, 1999, 23(3): 197 - 203.
- [36] Hall B D, Rosenberg D M, Wiens A P. Methylmercury in aquatic insects from an experimental reservoir[J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1998, 55: 2036 - 2047.
- [37] Johnston T A, Bodaly R A, Mathias J A. Predicting fish mercury levels from physical characteristics of boreal reservoirs[J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1991, 48: 1468 - 1475.
- [38] Anderson M R, Scruton D A, Williams U P, *et al.* Mercury in fish in the smallwood reservoir, Labrador, twenty one years after impoundment [J]. *Water, Air and Soil Pollut*, 1995, 80: 927 - 93.
- [39] Ikingura J R, Akagi H. Total mercury and methylmercury levels in fish from hydroelectric reservoirs in Tanzania[J]. *Sci Tot Environ*, 2003, 304: 355 - 368.
- [40] Gilmour C C, Henry E A. Mercury methylation in aquatic systems affected by acid deposition[J]. *Environ Pollut*, 1991, 71:131 - 169.
- [41] Brouard D, Demers C, Lalumiere R, *et al.* Summary Report: Evolution of FishMercury Levels in fish of the La Grande Hydroelectric Complex, Québec (1978 - 1989)[R]. Hydro Québec, Montreal, PQ, 1990.
- [42] Meili M. Mercury in Lakes and Rivers[A]. In Sigel A, Sigel H, (eds), *Metal ions in biological systems; Mercury and it effects on the environment and biology*[C]. Marcel Dekker, New York, NY, 1997.
- [43] Barkay T, Gillman M, Turner R R. Effects of dissolved organic carbon and salinity on bioavailability of mercury[J]. *Appl Environ Microbiol*,

- 1997, 63: 4 267 - 4 271.
- [44] Back R C, Watras C J. Mercury in zooplankton of northern Wisconsin lakes: taxonomic and site-specific trends[J]. *Water Air and Soil Pollut*, 1995, 80:931 - 938.
- [45] Driscoll C T, Blette V, Yan C, *et al.* The role of dissolved organic carbon in the chemistry and bioavailability of mercury in remote Adirondack lakes[J]. *Water Air and Soil Pollut*, 1995, 80: 499 - 508.
- [46] Diamond M, Ganapathy M, Peterson S, *et al.* Mercury dynamics in the Lahontan Reservoir, Nevada: Application of the Qwasi fugacity/Aquivalence multispecies model[J]. *Water Air and Soil Pollut*, 2000, 117: 133 - 156.
- [47] Schetagne R, Doyon J F, Fournier J J. Export of mercury downstream from reservoirs[J]. *Sci Tot Environ*, 2000, 260: 135 - 145.
- [48] Schetagne R, Doyon J, Fournier J. Export of methylmercury downstream of reservoirs[A]. In: Barbosa JP, Boas RV, Melamed R (eds), *Book of Abstracts of Fifth International Conference on Mercury as a Global[C]. Pollutant*, 23 - 28 May 1999, Rio de Janeiro. 1999.
- [49] Jiang Hongmei, Feng Xinbin, Dai Qianjing. Damming Effect on the Distribution of Mercury in Wujiang River[J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 2005, 24(2): 179 - 183.
- [50] 王雨春. 人为活动对流域生源要素生物地球化学行为影响的研究[D]. 北京:中国科学院生态环境研究中心, 2003.
- [51] Ullrich S M, Tanton T W, Abdrashitova S A. Mercury in the aquatic environment: a review of factors affecting methylation[J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2001, 31(3): 241 - 293.

Developments in the biogeochemical cycle of mercury in reservoirs *

JIANG Hong-mei^{1,2}, FENG Xin-bin¹

(1. *State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;*

2. Chongqing Communications Research and Design Institutes, Chongqing 400067, China)

Abstract: The development in mercury biogeochemical cycle in hydroelectric reservoirs both at home and abroad is reviewed in this paper. Basically, it contains four aspects, namely, the substrate mercury release behavior, the impact of mercury release on the water column, the transfer and bioaccumulation of mercury in the aquatic food chain and the reservoir's effect on the mercury distribution in the river. On these basis, the development tendency of this research is proposed since there is still some confusion and obscurity.

Key words: mercury; reservoir; biogeochemical cycle

* The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China(No.40532014).