

# 基于切向超滤技术的胶体有机碳和无机氮分离及物源初探

姜双城<sup>1,2</sup>, 郑爱榕<sup>3</sup>, 林培梅<sup>4</sup>, 席英玉<sup>1,2</sup>, 郑盛华<sup>1,2</sup>,  
吴立峰<sup>1,2</sup>, 林 娇<sup>1,2</sup>, 罗冬莲<sup>1,2</sup>

(1. 福建省水产研究所、福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室 福建 厦门 361013;  
2. 福建海洋生物资源开发利用协同创新中心 福建 厦门 361013;  
3. 厦门大学海洋与地球学院 福建 厦门 361005; 4. 厦门市第五中学 福建 厦门 361004)

**摘要:** 利用切向超滤技术对九龙江口天然水体中胶体相(1 kDa ~ 0.45 μm)、真溶解相 (< 1 kDa) 和“溶解相” (< 0.45 μm) 的溶解有机碳和无机氮进行了分离与提取, 初步探讨了水环境因子对其理化特性的影响机制, 进而探讨了它们的来源和转化。结果表明, 切向超滤过程的膜空白和质量平衡符合技术要求; 溶解有机碳、亚硝酸盐氮、氨氮、硝酸盐氮和无机氮存在形式以真溶液相 (< 1 kDa) 为主, 其在胶体相中的质量浓度分别为 0.207 ~ 0.810 mg/dm<sup>3</sup>、0.001 ~ 1.870 μg/dm<sup>3</sup>、ND ~ 2.08 μg/dm<sup>3</sup>、0.62 ~ 79.30 μg/dm<sup>3</sup> 和 1.07 ~ 81.10 μg/dm<sup>3</sup>; 胶体态溶解有机碳(COC) 含量主要受陆源输入控制。

**关键词:** 海洋化学; 切向超滤技术; 胶体; 溶解有机碳; 硝酸盐氮; 无机氮; 盐度

DOI: 10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2018. 04. 014

中图分类号: P734

文献标识码: B

文章编号: 2095-4972(2018)04-0577-08

胶体是天然水体中普遍存在的物质形式, 胶体颗粒因其独特的比表面积、表面电荷、氧化还原活性及生物可利用性, 易吸附一些放射性核素、痕量金属和有机化合物到其表面与之相结合, 对生态环境会产生较大的影响, 引起了学者们的重视。自20世纪80年代以来, 胶体颗粒的分离提取方法主要有离心、凝胶色谱、树脂吸附、渗析和切向超滤等<sup>[1-6]</sup>, 其中切向超滤(cross flow filtration, CFF) 技术以速度快、处理水样量大、损失少及装置简单等特点, 在海洋胶体研究中的应用日益广泛。

海洋中溶解有机碳同生物生命活动息息相关, 而无机氮是重要的生源要素, 是影响海域初级生产力的关键因素。从河流到近海, 随着盐度的变化, 水体的物理化学性质变化十分显著, 水体中各形态的生源物质迁移转化频繁<sup>[7-8]</sup>。九龙江是福建省第二大河流, 由北溪、西溪两大支流及南溪组成, 流域面

积1.474万 km<sup>2</sup>, 最终经厦门湾入海<sup>[7,9]</sup>。九龙江不仅是龙岩、漳州和厦门的饮用水源, 也是重要的工农业生产水源, 是支撑闽西南地区经济社会系统重要的基础性水源。近30a来, 随着九龙江流域工农业经济的飞速发展, 流域的可溶性的C和N等物质总量不断增加, 其产生的环境问题有所加剧<sup>[10-11]</sup>, 而胶体态溶解有机碳(COC)、胶体无机氮是颗粒态物质分解为溶解态的中间过程形态, 由于自身的物理化学特性, 可能形成元素迁移的加速泵, 可能会对河口区的生态环境产生影响。目前, 有关九龙江口溶解态的碳、氮的研究较多, 而COC、胶体无机氮的分离与来源的联合研究尚属空白。本研究以九龙江口作为河口区典型代表, 分离并测定水样中“溶解态” (< 0.45 μm)、胶体态(1 kDa ~ 0.45 μm) 和真溶解(< 1 kDa) 中溶解有机碳(DOC)、溶解无机氮(DIN)的含量, 研究胶体态的DOC、DIN在河口区的分布及其迁移转化, 为进一步开展海洋胶体相中碳、氮的地球

收稿日期: 2017-11-17

基金项目: 国家海洋局海洋公益性行业科研专项资助项目(201505034-4); 福建省科学技术厅公益专项资助项目(2015R1003-12)

作者简介: 姜双城(1980—), 男, 硕士, 助理研究员; E-mail: 2001082011@163.com

通讯作者: 罗冬莲(1969—), 女, 教授级高工; E-mail: 295807046@qq.com; 林培梅(1983—), 女, 一级教师, 硕士; E-mail: 459217383@qq.com

化学行为提供科学支撑.

### 1 材料与方法

#### 1.1 研究区域水文概况、样品采集与分析方法

九龙江口位于厦门湾西北部,属于东西走向的沉溺河口.全年平均水温为 20℃,是典型的亚热带潮汐河口,为非正规半日浅海潮,潮差最大可达 4 m.潮流属于往复流,大潮时表层和中层的流速

( >2.0 m/s) 大于底层( >1.5 m/s),河口水动力的停留时间为 2 ~ 3 d<sup>[12]</sup>.

本研究于 2017 年 3 月,在九龙江的枯水期,按照 0.5、10、15、20 和 25 的盐度梯度,用 5 dm<sup>3</sup> 卡盖式采水器(QCCC-5 型,国家海洋技术中心)采集 6 个表层水样(图 1),供溶解有机碳、无机氮分析,同时测定了水样的常规理化因子(表 1).

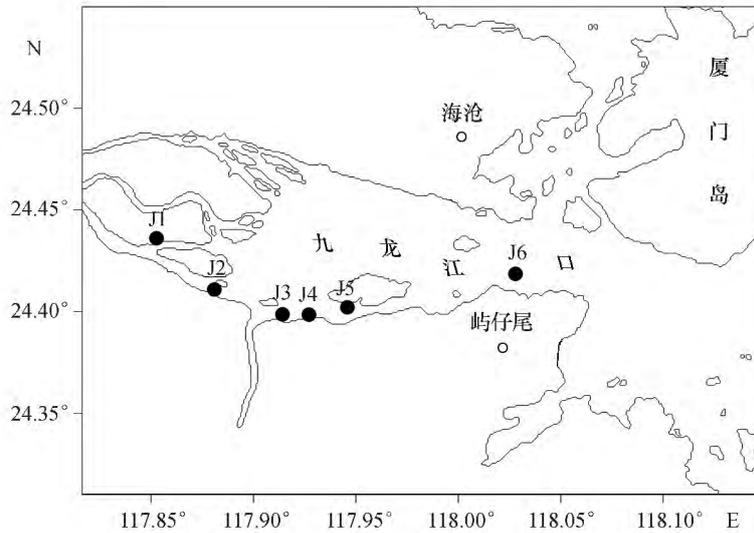


图 1 2017 年 3 月九龙江口调查站位

Fig. 1 Sampling locations in Jiulongjiang Estuary in March, 2017

水样采集后,营养盐和溶解有机碳的样品采用预先经 1 mol/dm<sup>3</sup> 的 HCl 处理过的 0.45 μm 醋酸纤维滤膜进行预过滤,分离溶解相和颗粒态;采用图 2 所示的切向超滤系统(Millipore Pellicon2, 1kDa)进行胶体相和真溶解相的分离.切向流超滤系统的操作、胶体态物质的提取借鉴 Belzile (2006)<sup>[4]</sup>的方法,同时根据技术需要进行改进.本实验的浓缩系数为 7 左右( $F_c = V_p/V_r$ ,其中  $V_p$ 、 $V_r$  分别为预过滤液和截留液的体积).

水样中的总溶解相(预过滤液、 $C_p$ )、真溶解相(超滤液、 $C_u$ )和截留液( $C_r$ )的亚硝酸盐( $NO_2^- -N$ )、硝酸盐( $NO_3^- -N$ )、铵盐( $NH_4^+ -N$ )和溶解有机碳(DOC)采用近岸海域环境监测规范<sup>[13]</sup>进行分析.水样中  $NO_2^- -N$ 、 $NO_3^- -N$  和  $NH_4^+ -N$  采用连续流动分析仪(型号:Skalar San++、Bran+Luebbe AA3)测定、DOC 采用岛津总有机碳分析仪(型号 TOC-VCPH)测定、水样中的溶解氧(DO)、pH、温度和盐度采用便携式多参数水质分析仪(型号:WTW Multi 3430)现场测定;无机氮(DIN)为  $NO_2^- -N$ 、 $NO_3^- -N$ 、 $NH_4^+ -N$  三者之和;胶体态中各形态碳和氮浓度的计算公式为:  $C_n = (C_r - C_u) / F_c$ ,  $C_n$ 、 $C_r$  和  $C_u$  分别为水体中 DOC、DIN 的浓度在胶体态、截留液和超滤液中的浓度,其中  $F_c$  为浓缩系数.

表 1 九龙江口调查站位常规理化因子

Tab.1 Location of investigation stations and common physicochemical factors of Jiulongjiang Estuary

站位	盐度	pH	$C_{DO} / (mg \cdot dm^{-3})$
J1	0.0	7.01	7.23
J2	5.0	7.26	6.02
J3	9.9	7.51	7.73
J4	15.2	7.67	7.60
J5	20.0	7.84	8.21
J6	24.5	7.97	9.01

#### 1.2 切向超滤过程的质量控制

超滤系统溶解有机碳、无机氮(硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮)的空白值是反映系统污染状况及超滤膜性能的一个重要指标.本航次 DOC 水样超滤的系统空白为 0.015 4 ~ 0.058 1 mg/dm<sup>3</sup>,接近超纯水有机碳空白 0.012 0 mg/dm<sup>3</sup>,DIN 中的  $NO_2^- -N$  和  $NO_3^- -N$  的膜空白均低于仪器检出限<sup>[13]</sup>、 $NH_4^+ -N$  的

检出限<sup>[13]</sup>为  $0.005 \text{ mg/dm}^3$ , 而超滤过程的氨氮膜空白范围为  $0.0057 \sim 0.0077 \text{ mg/dm}^3$ . 上述结果表明溶解有机碳和无机氮的膜空白浓度均较低, 说明

膜系统空白能满足实验要求, 对实验数据影响在允许范围内.

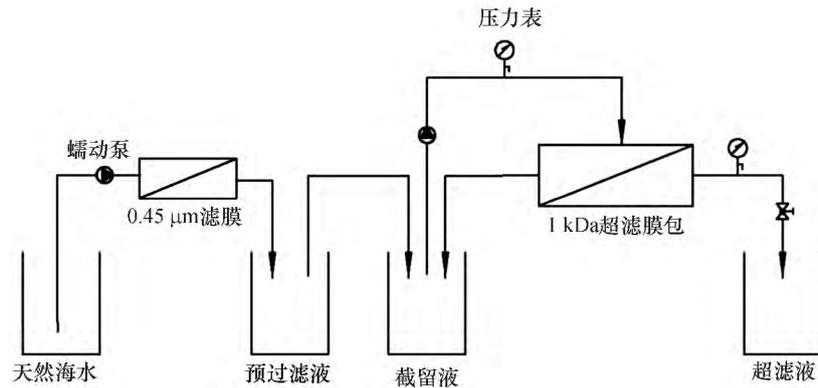


图2 切向超滤流程示意

Fig. 2 Schematic diagram of cross-flow ultrafiltration experiment

质量平衡是评价超滤过程优劣的重要参数, 样品的质量平衡用回收率 ( $R$ ) 表示. 若  $R > 100\%$ , 说明超滤过程中滤膜存在污染现象; 反之, 说明超滤过

程中滤膜存在吸附现象. 本航次溶解有机碳、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮和氨氮的样品回收率见表 2.

表 2 九龙江口溶解有机碳、无机氮的样品回收率  $R$  (%)

Tab. 2 Recoveries of dissolved organic carbon and inorganic nitrogen of Jiulongjiang Estuary

站位	溶解有机碳	亚硝酸盐氮	硝酸盐氮	氨氮
J1	101.0	104.0	98.3	92.4
J2	109.0	103.0	89.2	103.0
J3	93.4	101.0	98.5	98.2
J4	121.0	102.0	101.0	99.4
J5	93.7	103.0	99.7	102.0
J6	88.0	102.0	98.8	103.0

从表 2 中可以看出, 样品回收率范围为  $88.0\% \sim 121.0\%$ ,  $97.2\%$  的样品的回收率落在  $80.0\% \sim 120.0\%$  的区间内, 本航次样品的质量平衡符合<sup>[14-16]</sup>相关技术要求, 说明样品在超滤过程中没有明显的损失或污染.

### 1.3 数据处理方法

采用 SPSS 20.0<sup>[17]</sup> 进行数据统计分析, 运用 Surfer 12.0 绘制胶体态溶解有机碳和硝酸盐氮平面分布图.

## 2 结果与讨论

### 2.1 枯水期胶体态溶解有机碳和各形态氮的分布特征

#### 2.1.1 枯水期胶体态溶解有机碳含量、分布 溶解

有机碳在“溶解相”、真溶解相和胶体相的浓度见表 3. 由表 3 可知, 九龙江口 COC 的质量浓度为  $0.207 \sim 0.810 \text{ mg/dm}^3$ , 平均为  $0.475 \text{ mg/dm}^3$ , COC 在 DOC 中的占比为  $17\% \sim 44\%$ , 而真溶解相有机碳的占比为  $59\% \sim 90\%$ , 说明 DOC 的分布以真溶解相为主. 付佳露 (2011) 研究结果表明长江口水体中 COC 质量浓度在  $0.30 \sim 1.50 \text{ mg/dm}^3$  之间, 平均为  $0.70 \text{ mg/dm}^3$ , COC 在 DOC 中的占比为  $5.10\% \sim 30.5\%$ , 平均  $16.7\%$ <sup>[18]</sup>; 陈敏等 (2000) 估算的九龙江河口胶体态有机碳 ( $10 \text{ kDa} \sim 0.22 \mu\text{m}$ ) 丰度则为  $18.8\%$ <sup>[3]</sup>; 和文献数据相比, 本航次测定结果稍高, 可能与本航次的预过滤海水的膜的孔径为  $0.45 \mu\text{m}$  而非  $0.22 \mu\text{m}$  有关. COC 的空间分布见图 3, 从图中可以明显看出从河流→河口→近岸, 其浓度逐

渐降低,呈现河流 > 河口 > 近岸.

表 3 九龙江口不同相中溶解有机态的含量

Tab.3 Contents of dissolved organic compounds in different phases of Jiulongjiang Estuary

站位	溶解有机碳 DOC				
	$C_p / (\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_u / (\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_n / (\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_u$ 占比/%	$C_n$ 占比/%
J1	1.94	1.16	0.81	60	42
J2	1.63	1.07	0.71	66	44
J3	1.29	0.758	0.45	59	35
J4	1.27	1.14	0.40	90	31
J5	1.26	0.969	0.21	77	17
J6	1.24	0.813	0.27	66	22

注:  $C_p$ 、 $C_u$ 、 $C_n$  分别为溶解相(0.45  $\mu\text{m}$ )、真溶解相和胶体相

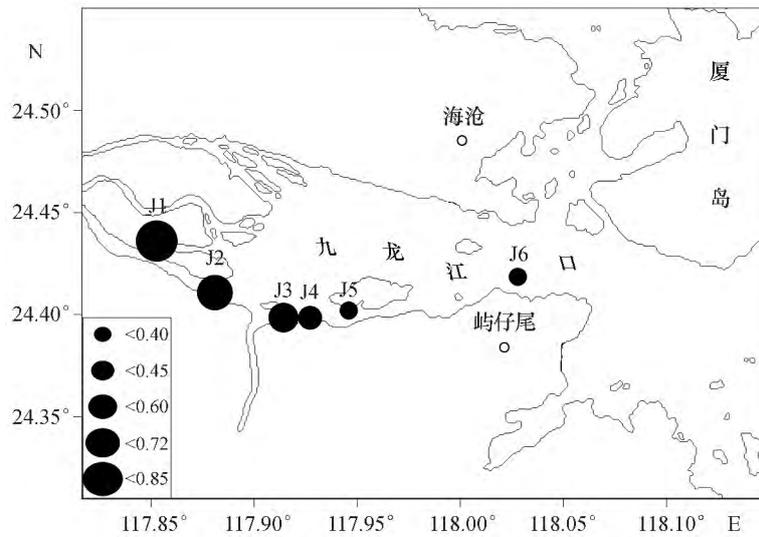


图 3 九龙江口胶体相中溶解有机碳含量的平面分布( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )

Fig. 3 Horizontal distribution of COC in Jiulongjiang Estuary

2.1.2 枯水期无机氮的含量、分布 亚硝酸盐氮、氨氮、硝酸盐氮和无机氮在溶解相、真溶解相和胶体相的浓度见表 4. 从表 4 中可以看出,上述物质在胶体相浓度分别为 0.001 ~ 1.870、ND ~ 2.08、0.62 ~ 79.30  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ 和 1.07 ~ 81.10  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ,其占溶解相的比例均低于 5%,水体中的各形态氮的存在形式

以真溶解相(<1 kDa)为主,这与 Bauer 等(1996)得出的海水胶体中氮含量较少,低分子有机物质中氮含量较丰富的结论相符<sup>[19]</sup>. 胶体态硝酸盐氮和无机氮最高值出现在河口区的 J2 站(盐度为 5.0),其占溶解相比例分别为 3.4%和 2.7%.

表 4 九龙江口不同相中各种形态氮的含量

Tab.4 Contents of various forms of nitrogen in different phases of Jiulongjiang Estuary

站位	亚硝酸盐氮				
	$C_p / (\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_u / (\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_n / (\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_u$ 占比/%	$C_n$ 占比/%
J1	0.211	0.208	0.00	98.6	0.00
J2	0.279	0.270	1.87	96.8	0.67
J3	0.214	0.209	0.14	97.7	0.07

续表 4

站位	亚硝酸盐氮				
	$C_p / (\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_u / (\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_n / (\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_u$ 占比/%	$C_n$ 占比/%
J4	0.157	0.154	0.67	98.1	0.43
J5	0.109	0.108	0.45	99.1	0.41
J6	0.071	0.007	0.17	97.8	0.24
站位	氨氮				
	$C_p / (\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_u / (\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_n / (\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_u$ 占比/%	$C_n$ 占比/%
J1	0.514	0.504	ND	98.1	ND
J2	0.381	0.378	ND	99.2	ND
J3	0.482	0.449	ND	93.2	ND
J4	0.427	0.417	ND	97.7	ND
J5	0.390	0.385	ND	98.7	ND
J6	0.274	0.272	2.08	99.3	0.76
站位	硝酸盐氮				
	$C_p / (\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_u / (\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_n / (\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_u$ 占比/%	$C_n$ 占比/%
J1	2.77	2.72	2.86	98.2	0.10
J2	2.32	1.96	79.30	84.5	3.40
J3	1.88	1.85	8.92	98.4	0.47
J4	1.59	1.56	4.42	98.1	0.28
J5	1.22	1.21	0.62	99.2	0.05
J6	0.80	0.78	9.65	97.6	1.20
站位	无机氮				
	$C_p / (\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_u / (\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_n / (\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3})$	$C_u$ 占比/%	$C_n$ 占比/%
J1	3.50	3.48	2.86	99.6	0.08
J2	2.98	2.97	81.10	99.6	2.70
J3	2.58	2.54	9.06	98.5	0.36
J4	2.17	2.16	5.09	99.4	0.23
J5	1.72	1.71	1.07	99.7	0.06
J6	1.15	1.14	11.90	99.7	1.00

注:  $C_p$ 、 $C_u$ 、 $C_n$  分别为溶解相 ( $0.45 \mu\text{m}$ )、真溶解相和胶体相

无机氮在胶体相、真溶解相和溶解相的主要存在形式均为硝酸盐氮, 占无机氮的 66.0% ~ 100%, 而  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  的含量相对较少. 郑爱榕等 (2001) [20] 提出当海洋水体达到热力学平衡时, 无机氮基本上以硝酸盐形式存在. 这可能与九龙江海域无机氮是呈热力学平衡、以及海域溶解氧  $6.02 \sim 9.01 \text{ mg/dm}^3$  含量较高, 各形态无机氮之间的转化以硝化为主.

胶体态硝酸盐氮空间分布见图 4. 从图 4 可看

出, 胶体态硝酸盐氮的分布规律较差, 其含量极高值出现在 J2 站和 J6 站, 而含量最低值出现河流端的 J1 站, 表明陆源输入不是胶体态硝酸盐氮的关键控制因素.

## 2.2 胶体态的溶解有机碳、无机氮与环境因子关系及物源出探

### 2.2.1 胶体态和溶解态 DOC 与环境因子关系及物源初探

九龙江河口海区水体的 DOC、COC 与盐度呈显著负相关, 相关方程分别为  $C_p = -0.0266S +$

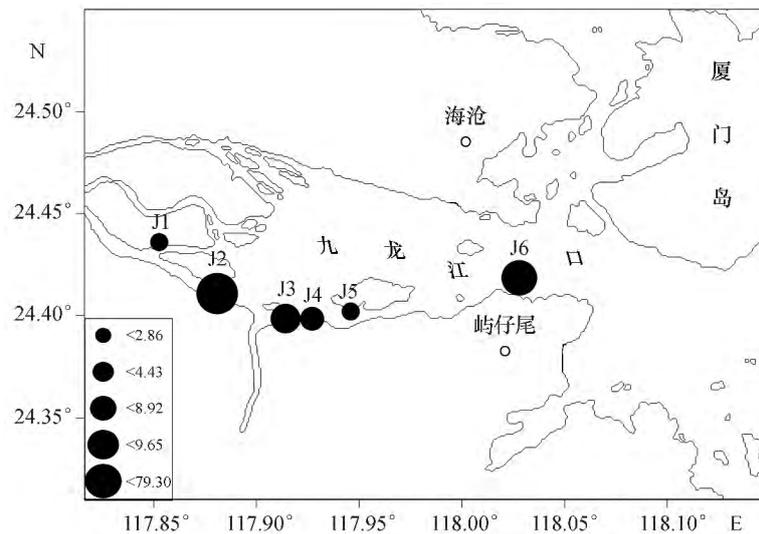


图4 九龙江口胶体相硝酸盐氮含量的平面分布 ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ )

Fig. 4 Horizontal distribution of colloidal nitrate nitrogen of Jiulongjiang Estuary

1.770 ( $r=0.87, p=0.05, n=6$ )、 $C_n = -0.0244S + 0.780$  ( $r=0.95, p<0.01, n=6$ )，说明陆源输入是影响九龙江河口区 DOC、COC 的关键因素。九龙江河口海区的 COC 与 DO、pH 均显著负相关，相关系数分别为  $r = -0.79$  ( $p=0.05, n=6$ ) 和  $r = -0.97$  ( $p<0.01, n=6$ )，这可能与溶解氧饱和度、海水酸度大的环境有助于胶体态的 COC 向真溶解态的转化有关。

2.2.2 DIN 与环境因子关系及物源初探 胶体态的硝酸盐氮、无机氮与溶解氧具有一定的相关性，但不显著，相关系数分别为  $-0.754$  ( $p=0.083, n=6$ ) 和  $-0.739$  ( $p=0.093, n=6$ )，说明海水中饱和氧的浓度高，不利于胶体态硝酸盐氮存在，而二者与盐度无相关性，说明陆源输入不是控制枯水期九龙江口胶体态硝酸盐氮和无机氮的关键因素。

溶解相的硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和无机氮与海水中盐度显著负相关，说明陆源输入是影响海域无机氮含量关键因素，九龙江沿岸县市需要进一步加强监管，科学控制九龙江流域无机氮的输入量；真溶解相的硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和无机氮与盐度相关性与溶解相一致，这与真溶解相为溶解相的主要组分有关；而氨氮与盐度的具有一定的相关性，但不显著 ( $r = -0.766, p=0.0753, n=6$ )，表明九龙江河口区的铵盐除了陆源输入外，还存在其他来源方式。

参考文献:

[1] KUMA K, KATSUMOTO A, NISHIOKA J et al. Size-fractionated iron concentrations and Fe(III) hydroxide solubilities in various coastal waters [J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 1998, 47(3): 275-283.  
 [2] CARLSON C A, DUCKLOW H W, MICHAELS A F. Annual flux of dissolved organic carbon from the euphotic zone in the northwestern Sargasso Sea [J]. Nature, 1994, 371(6496): 405-408.

溶解相、真溶解相的亚硝酸盐氮、硝酸盐氮和无机氮与 pH 显著负相关，可能与上述各形态氮主要受陆源输入控制，而正常状况下的河流→河口→近岸的 pH 变化与盐度变化呈镜像关系，所以盐度、pH 和亚硝酸盐氮、硝酸盐氮和无机氮之间均显著负相关。溶解相的亚硝酸盐氮与海水中溶解氧显著负相关，相关系数为  $-0.94$  ( $p<0.01, n=6$ )，这可能与海水富氧环境下，亚硝酸盐氮以  $\text{NO}_2^- \text{-N} \rightarrow \text{NO}_3^- \text{-N}$  的硝化作用为主。

3 结论

超滤过程中溶解有机碳和各形态氮的样品回收率介于 88.0% ~ 121.0%，说明实验过程中研究组分受到的污染或损失均较小。

九龙江口 COC 的质量浓度为 0.207 ~ 0.810  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ，平均为 0.475  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ，COC 在 DOC 的占比为 17% ~ 44%；而  $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和 DIN 在胶体相的质量浓度分别为 0.001 ~ 1.870  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ 、ND ~ 2.08  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ 、0.62 ~ 79.30  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$  和 1.07 ~ 81.10  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ；水体中的 DOC、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  的存在形式以真溶解相 (< 1 kDa) 为主；陆源输入是影响九龙江口 COC、溶解相和真溶解相中  $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$  的关键因素。

- [3] 陈敏, 郭劳动, 黄奕普, 等. 错流超滤技术在海水胶体态铀、钍、镭同位素和有机碳研究中的应用[J]. 海洋学报, 2000, 22(5): 51-59.
- [4] BELZILE C, GUO L D. Optical properties of low molecular weight and colloidal organic matter: Application of the ultrafiltration permeation model to DOM absorption and fluorescence[J]. Marine Chemistry, 2006, 98(2/3/4): 183-196.
- [5] YI Y Y, ZHENG A R, GUO W D, et al. Optical properties of estuarine dissolved organic matter isolated using cross-flow ultrafiltration[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2014, 4(33): 22-29.
- [6] WILDING A, LIU R, ZHOU J L. Dynamic behaviour of river colloidal and dissolved organic matter through cross-flow ultrafiltration system[J]. Colloid and Interface Science, 2005, 287(1): 152-158.
- [7] 侯丽媛, 胡安谊, 于昌平. 九龙江-河口表层水体营养盐含量的时空变化及潜在富营养化评价[J]. 应用海洋学学报, 2014, 33(3): 369-378.
- [8] 张述伟, 王江涛, 李宁, 等. 2010年春季长江口邻近海区水体中溶解有机碳、氮的分布特征及其影响因素[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(1): 33-38.
- [9] 黄秀琴. 九龙江流域水文特征[J]. 水利科技, 2008(1): 16-20.
- [10] 颜秀丽, 翟惟东, 洪华生, 等. 九龙江口营养盐的分布、通量及其年代际变化[J]. 科学通报, 2012, 57(17): 1575-1587.
- [11] 黄海宁, 林彩, 暨卫东, 等. 九龙江河口区营养盐分布特征及其影响因素[J]. 海洋通报, 2012, 31(3): 290-296.
- [12] CAO W, HONG H, YUE S. Modelling agricultural nitrogen contributions to the Jiulong River estuary and coastal water[J]. Glob Planet Change, 2005, 47: 111-121.
- [13] 中华人民共和国环境保护部. 近岸海域环境监测规范: HJ 442—2008[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- [14] BUESSELER K O, BAUER J E, CHEN R F, et al. An intercomparison of cross-flow filtration techniques used for sampling marine colloids: Overview and organic carbon results[J]. Marine Chemistry, 1996, 55(1/2): 1-31.
- [15] CHERYAN M. Ultrafiltration and microfiltration handbook[M]. Lancaster Basel: hemical Rubber Company Press, 1998.
- [16] GUO L, COLEMAN C H J R, SANTSCHI P H. The distribution of colloidal organic carbon in the Gulf of Mexico[J]. Marine Chemistry, 1994, 45(1/2): 105-119.
- [17] 杜强, 贾丽艳, 严先. SPSS 统计分析从入门到精通[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014.
- [18] 付佳露, 杨毅, 彭欢, 等. 长江口水环境中纳米颗粒物初探[J]. 环境科学, 2011, 32(7): 1924-1931.
- [19] BAUER J E, RUTTENBERG K C, WOLGAST D M, et al. Cross-flow filtration of dissolved and colloidal nitrogen and phosphorus in seawater: Results from an intercomparison study[J]. Marine Chemistry, 1996, 55(1/2): 33-52.
- [20] 郑爱榕, 沈海维, 刘景欣, 等. 大亚湾海域低营养盐维持高生产力的机制探讨[J]. 海洋科学, 2001, 25(11): 48-52.

## Application of the cross-flow ultrafiltration technique to study the separation of colloidal dissolved organic carbon and organic nitrogen with sources study

JIANG Shuang-cheng<sup>1,2</sup>, ZHENG Ai-rong<sup>3</sup>, LIN Pei-mei<sup>4</sup>, XI Ying-yu<sup>1,2</sup>, ZHENG Sheng-hua<sup>1,2</sup>,  
WU Li-feng<sup>1,2</sup>, LIN Jiao<sup>1,2</sup>, LUO Dong-lian<sup>1,2</sup>

(1. Fisheries Research Institute of Fujian; Key Laboratory of Cultivation and High-value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, Xiamen 361013, China; 2. Fujian Collaborative Innovation Center for Exploitation and Utilization of Marine Biological Resources, Xiamen 361013, China; 3. College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005; 4. Xiamen Fifth Middle School, Xiamen 361004, China)

**Abstract:** Based on the cross flow ultrafiltration technique, dissolved organic carbon and inorganic nitrogen of the colloidal phase (1 kDa - 0.45 μm), solution phase (< 1 kDa) and "dissolved phase" (< 0.45 μm) in the natural water of Jiulongjiang Estuary were separated and extracted. The water environmental factors impacting on their physical and chemical properties were analyzed preliminarily and their origin and transformation were further discussed. The results show that the membrane blank and the mass balance of cross flow ultrafiltration process could meet the technical requirements. The dominant status of dissolved organic carbon, nitrite nitrogen, ammonia nitrogen, nitrate nitrogen and inorganic nitrogen were truly dissolved phase (< 1 kDa), and their concentrations in the

colloidal phase were in range of  $0.207 - 0.810 \text{ mg/dm}^3$ ,  $0.001 - 1.870 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$ , ND -  $2.08 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$ ,  $0.62 - 79.30 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$  and  $1.07 - 81.10 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$ , respectively. Terrestrial inputs were important factors affecting the COC in Jiulongjiang Estuary.

**Key words:** marine chemistry; cross flow ultrafiltration; colloid; dissolved organic carbon; colloidal nitrate; inorganic nitrogen; salinity

DOI: 10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2018. 04. 014

(责任编辑: 杜俊民)