

夏季辽河口各形态营养盐的河口混合行为

于立霞¹, 简慧敏², 王兆锬², 姚庆祯¹, 陈洪涛¹

(1. 中国海洋大学 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室, 山东 青岛 266100; 2. 山东出入境检验检疫局检验检疫技术中心, 山东 青岛 266003)

摘要: 利用 2009 年 7 月对辽河口水域航次的调查结果, 对该水域营养盐的形态和分布特征进行了探讨, 并对其主要控制过程进行了讨论。结果表明: 辽河口水域营养盐的变化范围较大。磷主要以磷酸盐的形式存在, 其余依次是颗粒态磷 PP、溶解有机磷 DOP, 三者含量相差不大; 氮主要以硝酸盐的形式存在, 其余依次是溶解有机氮 DON、颗粒态氮 PN、亚硝酸盐、氨氮。硝酸盐、亚硝酸盐、溶解有机氮 DON、溶解无机氮 DIN、溶解态总氮 DTN、总氮 TN、颗粒态磷 PP、溶解有机磷 DOP、溶解态总氮 DTP、总磷 TP 和硅酸盐的行为是保守的, 其行为主要受咸淡水混合过程控制; 磷酸盐、氨氮和颗粒态氮 PN 的行为是非保守的。辽河口水域无机氮均劣于国家海水水质标准中四类海水水质的海域, 磷酸盐也属于或高于四类海水水质, 属于严重污染海域。

关键词: 辽河口; 营养盐; 形态; 分布特征; 行为

中图分类号: P734.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)12-0068-07

河流输送是海洋营养要素的重要来源之一。河流排放的营养物质为河口海区海洋生物的生长繁殖提供重要的保证, 但是过量的营养物质将引起海水污染和水域的富营养化, 危及海洋的生命活动。河口区作为河流与海洋之间的界面, 陆源物质在进入海洋前发生着显著的改造和再循环。

辽河是渤海海域较大的入海河流之一, 携带大量的营养物质排泄入海, 直接影响近岸海区的营养状况和水质状况。关于辽河口及其海域营养盐的分布变化规律, 已有不少研究报道。蒋岳文等^[1]对辽河口营养盐分布及变化规律进行分析得出, 溶解无机氮和硅酸盐主要受海水稀释扩散作用控制, 其行为是保守的, 磷酸盐行为变化与季节有关; 王继龙等^[2]的研究表明, 辽河口溶解无机氮具有良好的保守行为, 而磷酸盐存在吸附-解吸作用; 雷坤等^[3]发现 N 营养盐(硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮)保守性较好, 磷酸盐由于其缓冲特征, 保守性较差。

目前的研究主要针对的是辽河口的溶解无机态营养盐, 关于总溶解态营养盐、溶解有机态营养盐和颗粒态营养盐的分布还少有报道, 且目前研究主要针对辽河口外海域的研究, 但对淡咸水混合区营养盐的形态及行为缺乏系统的研究。本研究通过对 2009 年 7 月辽河口水域营养盐样品的分析, 讨论了

辽河口从淡水至海水水域营养盐的各种形态、分布特征及其河口混合行为, 并与世界河流营养盐的浓度进行了对比。

1 采样及分析方法

于 2009 年 7 月对辽河口水域进行现场调查, 调查水域及具体采样站位位置见图 1 所示, 在各站位采集表层水样。水样采集后, 立即用 0.45 μm 醋酸纤维滤膜(预先用 1:1000HCl 浸泡 24 h, 并用 Milli-Q 水洗至近中性)过滤, 滤液分装于 2 个 100 mL 聚乙烯瓶(预先用 1:5HCl 浸泡 24 h, 并用去离子水洗至近中性)中, 一份于 -20℃ 下冷冻保存用于磷酸盐(PO_4^{3-} -P)、硝酸盐(NO_3^- -N)、亚硝酸盐(NO_2^- -N)、氨氮(NH_4^+ -N)、溶解态总磷(DTP)、溶解态总氮(DTN)的测定; 另一份加入固定剂氯仿后常温保存用于硅酸盐(SiO_3^{2-} -Si)的测定。另取一份水样用聚醚砜膜(处理方法与醋酸纤维滤膜相同)过滤, 滤膜于 -20℃ 下冷冻保存用于颗粒态磷(PP)、颗粒态氮(PN)的测定。

收稿日期: 2010-08-26; 修回日期: 2010-12-28

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项项目(2008ZX07526-003); 908 专项项目(908-02-02-02)

作者简介: 于立霞(1984-), 女, 山东淄博人, 硕士研究生, 研究方向为海洋生物地球化学, E-mail: yulixia1019@163.com 姚庆祯, 通信作者, E-mail: qzhao@ouc.edu.cn

在实验室中,利用 QUAATRO 型营养盐自动分析仪(德国 BRAN+LUEBBE 公司)测定无机态营养盐,溶解无机氮包括硝酸盐、亚硝酸盐和氨氮(DIN=NO₃⁻-N+NO₂⁻-N+NH₄⁺-N)。颗粒态磷、颗粒态氮、溶解态总磷和溶解态总氮采用碱性过硫酸钾氧化法消化,用 AA 型营养盐自动分析仪(德国 BRAN+LUEBBE 公司)测定。溶解有机磷 DOP=DTP-(PO₄³⁻-P), 溶解有机氮 DON=DTN-DIN, 总磷 TP=DTP+PP, 总氮 TN=DTN+PN。

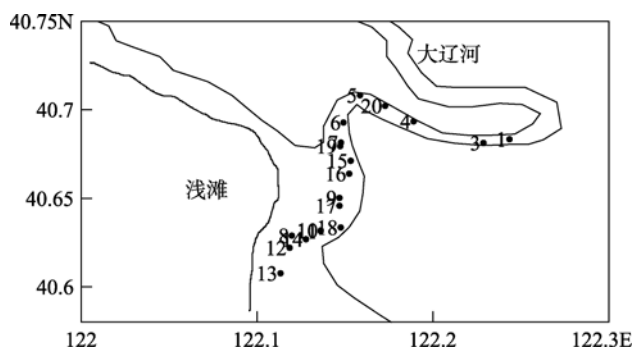


图 1 辽河口采样站位

Fig. 1 Schematic map of sampling stations at the Liaohe estuary

2 结果与讨论

2.1 辽河口水域各形态营养盐的含量、分布特征及河口混合行为

2.1.1 各形态磷的含量、分布特征及河口混合行为

表 1 为 2009 年 7 月辽河口调查水域水体中各种形态营养盐含量的平均值和变化范围。辽河口水域磷酸盐(PO₄³⁻-P)、溶解有机磷(DOP)和溶解态总磷(DTP)浓度的变化范围分别是: 1.07~2.16、0.42~2.96 和 1.96~4.03 μmol/L; 各形态 P 的平均值分别为 1.40、1.12 和 2.52 μmol/L。PO₄³⁻-P 占 DTP 的比例为 27%~84%, 平均值为 57%; 除 1 号、9 号、10 号、18 号站位 PO₄³⁻-P 占 DTP 的比例低于 50% 外, 其余站位 PO₄³⁻-P 占 DTP 的比例均高于 50%, 说明其为 DTP 的主要存在形态。

辽河口水域颗粒态磷(PP)、总磷(TP)浓度的变化范围分别是 0.60~3.45、2.76~7.48 μmol/L, 平均值分别为 1.30、3.82 μmol/L。PP 占 TP 的比例为 22%~46%, 平均值为 33%; DTP 占 TP 的比例为 54%~78%, 平均值为 67%, 即 DTP 为 TP 的主要存在形态。在所调查

表 1 辽河口调查水域各形态营养盐的含量(μmol/L)

Tab. 1 Concentrations of nutrients at Liaohe estuary(μmol/L)

营养盐	含量范围	平均值	营养盐	含量范围	平均值
TP	2.76~7.48	3.82	DON	21.9~134.6	91.3
DTP	1.96~4.03	2.52	DIN	135.9~373.2	244.1
PO ₄ ³⁻ -P	1.07~2.16	1.40	NO ₃ ⁻ -N	124.7~352.6	232.1
DOP	0.42~2.96	1.12	NO ₂ ⁻ -N	2.96~15.5	7.42
PP	0.60~3.45	1.30	NH ₄ ⁺ -N	2.02~6.79	4.55
TN	241.9~745.0	397.0	PN	25.4~318.1	61.7
DTN	198.5~500.2	335.4	SiO ₃ ²⁻ -Si	36.0~85.6	60.7

水域, 磷酸盐、DOP、PP 三者的含量相差并不太大, 平均含量由大到小依次为磷酸盐、PP、DOP。

辽河口 PO₄³⁻-P 在淡水端含量最低为 1.07 μmol/L, 后随着盐度增加浓度略有升高, 当盐度>5 后, 其浓度无明显变化趋势, 最大值(2.16 μmol/L)出现在盐度 15 处(图 2)。DOP、DTP、TP 的浓度皆在淡水端最高, 分别为 2.96、4.03、7.48 μmol/L, 后随着盐度的增加迅速降低; 至盐度>5 后其浓度随盐度的增加缓慢降低。PP、DOP、DTP、TP 的含量分布趋势为, 海水端含量低, 淡水端含量高, 其行为是保守的, 主要受海水对淡水的稀释作用控

制; 而 PO₄³⁻-P 的行为是非保守的。PO₄³⁻-P 的这种分布特征可能受以下几个因素影响: 一是人为活动影响, 沿岸人类生活及工农业含磷废水的排放, 使河口水域磷酸盐含量升高; 营口地区年排放工业废水 2 273 万 t, 主要排放企业有造纸、发电、化纤、印染、卷烟。重要污染因子为化学需氧量(COD)、悬浮颗粒物(SS)、石油类。大辽河营口段水质经常处于 V 类及劣 V 类。近岸海域水质主要污染因子为无机氮、石油类、COD_{Mn} 和活性磷酸盐^[4]。二是 PO₄³⁻-P 在河口地区具有缓冲现象, 产生这种缓冲现象的原因是由于磷酸盐与悬浮颗粒物发生了固-

液界面的吸附-解吸作用,即河口悬浮颗粒物能从富含磷酸盐的水体吸附磷酸盐,而后又能在低浓度水中释放磷酸盐出来,这样就使水体中的磷酸盐浓度维持在一个相对恒定的范围内^[5]。三是河水与海水的混合过程中化学和生物效应的影响,生物对磷酸盐的吸收,其他可能的转移等^[1],即其不仅受物理过程的影响,还受化学过程和生物活动

的影响^[6-7]。

与《海水水质标准》(GB 3097-1997)^[8]比较,在所测水域的 19 个站点中有 12 个站点符合四类《海水水质标准》(1.45 μmol/L),其余 7 个站点(3 号站、4 号站、6 号站、13 号站、16 号、17 号站和 20 号站)均超过四类《海水水质标准》,由此可见辽河口水域的活性磷酸盐含量严重超标。

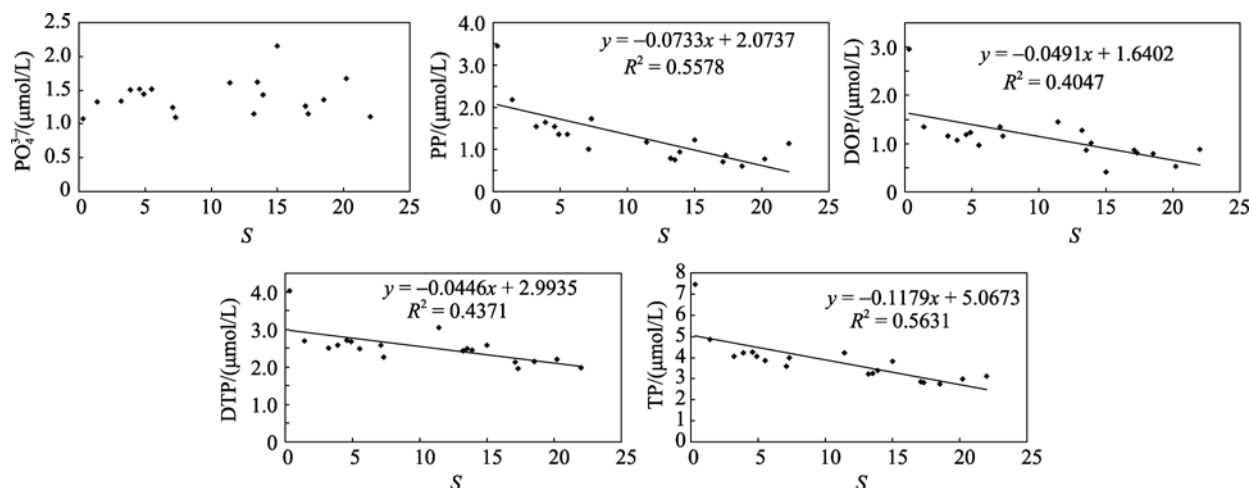


图 2 磷酸盐、颗粒态磷、溶解有机磷、溶解态总磷、总磷含量与盐度 S 的关系

Fig. 2 Relationships between salinity and phosphate, particulate phosphorus, dissolved organic phosphorus, dissolved total phosphorus, and total phosphorus at Liaohu estuary

2.1.2 各形态氮的含量、分布特征及河口混合行为

辽河口水域硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、溶解无机氮(DIN)、溶解有机氮(DON)和溶解态总氮(DTN)浓度变化范围也较大,分别是: 124.7~352.6、2.96~15.5、2.02~6.79、135.9~373.2、21.9~134.6 和 198.5~500.2 μmol/L,各形态 N 平均值分别为 232.1、7.42、4.55、244.1、91.3 和 335.4 μmol/L。硝酸盐占 DIN 的比例为 92%~96%,平均值为 95%,为 DIN 的主要存在形态;亚硝酸盐占 DIN 的比例为 2%~4%,平均值为 3%;氨氮占 DIN 的比例为 1%~5%,平均值为 2%。水域的亚硝酸盐与氨氮含量相差不大,亚硝酸盐含量平均稍高一些。DIN 占 DTN 的比例为 58%~92%,平均值为 72%;为 DTN 的主要存在形态。

辽河口水域颗粒态氮(PN)、总氮(TN)的浓度变化范围分别是: 25.4~318.1、241.9~745.0 μmol/L,平均值分别 61.7、397.0 μmol/L。PN 占 TN 的比例为 5%~56%,平均值为 14%;DTN 占 TN 的比例为 44%~95%,平均值为 86%,为 TN 的主要存在形态。在调查的大部分水域,硝酸盐为 TN 的主要存在形态,其余依次是 DON、PN、亚硝酸盐、氨氮。

NO₃⁻-N、NO₂⁻-N 在淡水端的浓度最高,从感潮

河段、口门至口外的海域,在河水和海水的交换和混合过程中,NO₃⁻-N、NO₂⁻-N 的含量都呈逐渐降低的趋势;NO₃⁻-N、NO₂⁻-N 含量的分布主要受海水和河水的混合产生的物理稀释的影响,海水端含量低,淡水端含量高,其含量的变化受化学过程和水体中的浮游生物活动影响并不大,其行为是保守的(图 3)。NH₄⁺-N 的分布与 NO₃⁻-N、NO₂⁻-N 明显不同,表现为在低盐度区含量较低,而在高盐度区浓度较高,其行为是非保守的。PN 的浓度从淡水端至海水端基本变化不大,行为是非保守的。DON 的浓度也表现为淡水端较高,由感潮河段、口门至口外的海域其浓度逐渐降低,也表现为主要受海水和河水的混合产生的物理稀释的影响。DIN、DTN、TN 的分布与 NO₃⁻-N 的分布相一致(图 3),淡水端含量最高,海水端含量最低,其行为是保守的,主要受海水和河水的混合产生的物理稀释的影响。

与《海水水质标准》比较,水域所测站点溶解无机氮(DIN)含量较高,均超过四类《海水水质标准》(35.7 μmol/L),由此可见辽河口水域无机氮的含量严重超标。

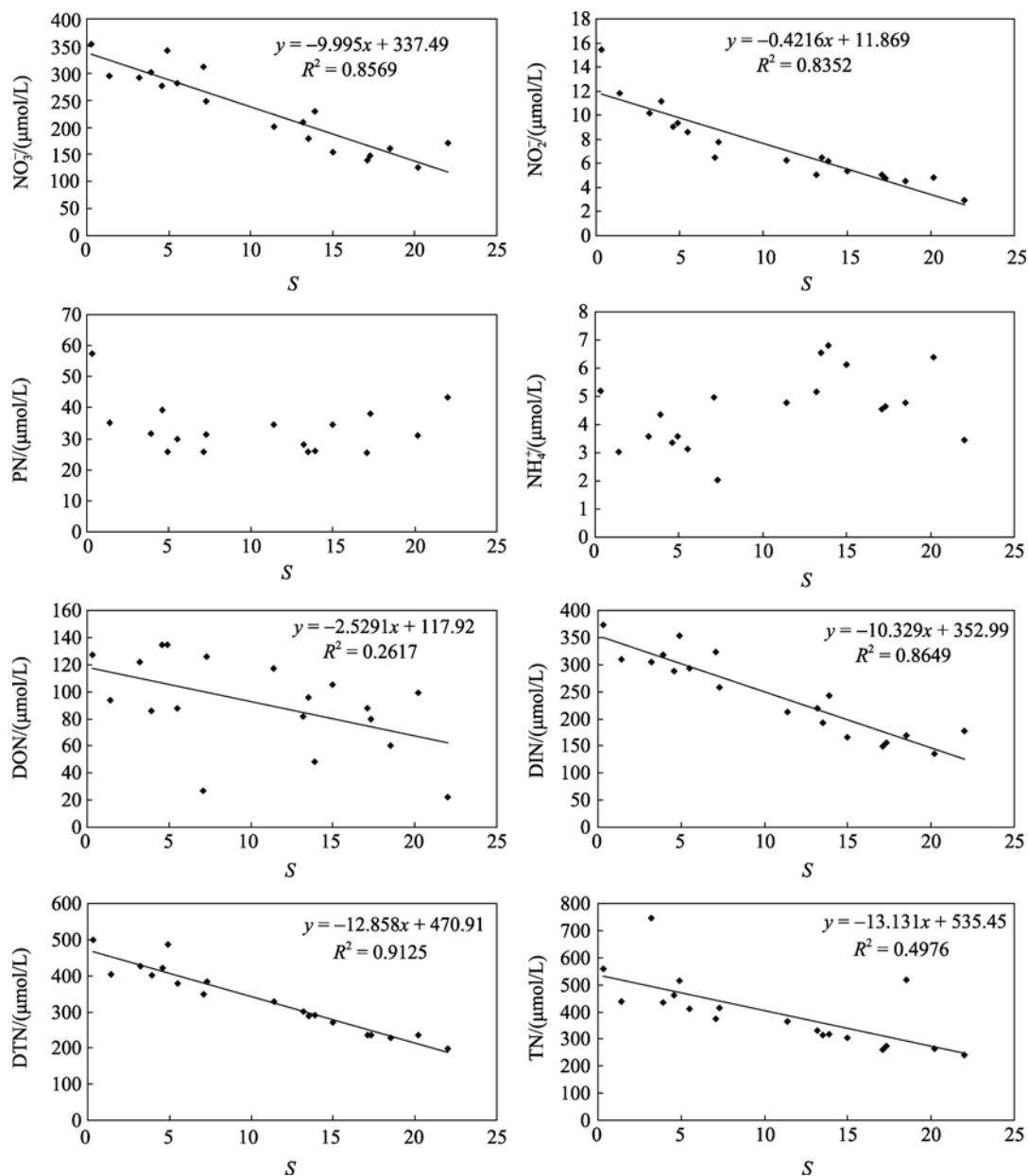


图 3 硝酸盐、亚硝酸盐、颗粒态氮、氨氮、溶解有机氮、溶解无机氮、溶解态总氮、总氮含量与盐度 S 的关系

Fig. 3 Relationships between salinity and nitrate, nitrite, particulate nitrogen, ammonia, dissolved organic nitrogen, dissolved inorganic nitrogen, dissolved total nitrogen, and total nitrogen at Liaohu estuary

2.1.3 硅酸盐的含量、分布特征及河口混合行为

辽河口水域硅酸盐的浓度变化范围是 36.0 ~ 85.6 $\mu\text{mol/L}$ ，平均值为 60.7 $\mu\text{mol/L}$ 。最高浓度出现在 1 号站位，为 85.6 $\mu\text{mol/L}$ ，最低浓度出现在 8 号站位，为 36.0 $\mu\text{mol/L}$ 。

与硝酸盐的行为变化相似，辽河口水域的硅酸盐基本呈现保守的行为 ($R = -0.99$, $P < 0.0001$)，硅酸盐含量也有随水体盐度值的增大而呈递减的趋势 (图 4)。影响辽河口水域硅酸盐分布变化的因素主要是辽

河水与海水的物理混合稀释过程，而受生物活动和化学作用的影响并不大，这一结果与蒋岳文等^[1]的研究结果一致。

2.2 辽河口水域营养盐结构

N/P 值(原子比)是考察水体营养盐结构的重要指标。一般在海水中正常的 N/P 比值为 16:1^[9-10]，与浮游植物元素组分的 C_N/C_P 大致相同，N/P 值偏高或过低都可能引起浮游植物的生长受到某一相对低含量

元素的限制^[11]。因此把 C_N/C_P 比值 16 称为 Redfield 比值, 作为生态环境中氮或磷是否缺乏的判据。但近海、浅海区和河口 N/P 比值并不恒定, 不同的区域有不同的比值, 有些区域随着季节还有变化。胡明辉等^[12]指出, 当 $N/P < 8$ 时, 藻类生长受 N 限制; N/P 为 8 ~ 30 时, N 和 P 均供应充分, 同时被消耗; $N/P > 30$ 时, 藻类生长受到 P 的限制。

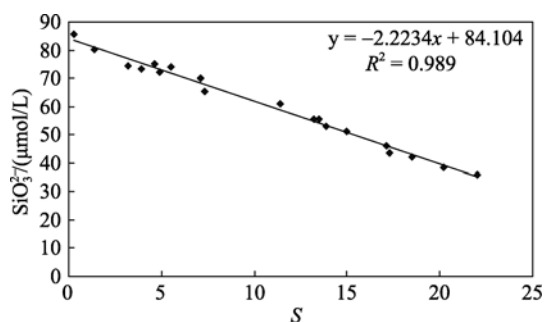


图 4 硅酸盐含量与盐度 S 的关系

Fig. 4 Relationship between silicate and salinity at Liaohe estuary

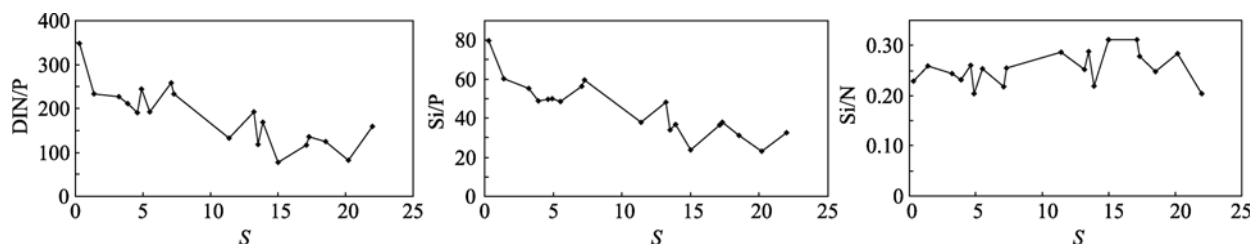


图 5 DIN/P、Si/P、Si/N 与盐度 S 的关系

Fig. 5 Relationships between salinity and DIN/P, Si/P, and Si/N at Liaohe estuary

2.3 与世界河流营养盐的对比

以淡水端的浓度作为辽河的浓度, 辽河 $NO_3^- - N$ 、 $PO_4^{3-} - P$ 的浓度分别为 352.6、1.07 $\mu\text{mol/L}$; 同世界上其他河流相比(如表 2 所示), 辽河硝酸盐的含量处于较高的水平, 其含量明显高于世界其他河流, 甚至高于欧洲及北美地区污染与富营养化河流(如 Rhone River、Rhine River、Mississippi River、Lorie River 等), 为世界背景值的 50 多倍。辽河磷酸盐的含量与世界河流背景值相当, 明显低于欧洲及北美地区其他的污染与富营养化河流(如 Rhone River、Rhine River、Mississippi River、Lorie River 等), 但明显高于国内其他大河。我国几大主要河流的营养盐含量已接近于欧洲及北美地区污染河流, 所不同的是, 我国河流由于流域内中高强度的农业耕作与广泛施用化肥, 硝酸盐含量较高; 而欧美河流则由于

工业与生活污水的排放, 磷酸盐含量相对较高。Justic 等和 Dortch 等提出一个系统评估每一种营养盐化学计量限制的标准^[13]: (1)若 $Si/P > 22$ 和 $N/P > 22$, 则 $PO_4^{3-} - P$ 为限制因素; (2)若 $N/P < 10$ 和 $Si/N > 1$, 则无机氮为限制因素; (3)若 $Si/P < 10$ 和 $Si/N < 1$, 则为 $SiO_3^{2-} - Si$ 限制因素。

如图 5 所示, 辽河口水域 DIN/P 比值的变化范围是 76.4 ~ 347.5, 平均值为 181.2, 除 4 号、13 号站位外, 大部分站位 DIN/P 比值皆在 100 以上; Si/P 比值的变化范围是 23.0 ~ 79.7, 平均值为 44.7; Si/N 比值的变化范围是 0.2 ~ 0.31, 平均值为 0.25, 各站位 Si/N 比值均小于 1.0, DIN/P 和 Si/P 随盐度值增大逐渐降低; Si/N 比值在中等盐度(15)较高, 而海水端最低。比较可以得出, 辽河口 N 与 P 的比例严重失调, N/P 值远大于 Redfield 比值, $PO_4^{3-} - P$ 可能成为该水域浮游植物生长的限制因子之一。按另外两种划分方法也说明 $PO_4^{3-} - P$ 是该水域的限制因子。以上均说明辽河口水域是受磷限制的, 符合磷限制已成为中国近海河口区域的特征^[14]。

工业与生活污水的排放, 磷酸盐含量相对较高。

辽河水中高的氮、磷浓度主要是由于人为输入造成。辽河流域内人类活动强度大, 工业种类齐全, 分布不均衡, 工业最密集的区域在辽河中下游; 另外该区域也是我国农牧业生产基地。2006 年辽宁省流入河流污水排放量为 2.52×10^9 t, 其中流入辽东湾的污水约 2.14×10^9 t, 而大辽河流入的污水高达 1.35×10^9 t, 占流入河流污水总量的 63.1%。2006 年全省进入河流污染物排放总量为 11.15×10^5 t, 其中进入大辽河污染物 7.13×10^5 t, 占全省入河污染物排放总量的 63.9%。因此, 辽河口的 TN、TP 主要来自于流域化肥的使用及工、农业污水的排放。

3 结论

本研究通过对 2009 年 7 月辽河口水域所采集水样进行测定分析, 可以得出以下结论:

表 2 世界河流营养盐的浓度($\mu\text{mol/L}$)

Tab. 2 Concentrations of nutrients of the main rivers worldwide($\mu\text{mol/L}$)

河流	NO_3^-	PO_4^{3-}	SiO_3^{2-}	N/P	Si/N	参考文献
Rhone River	74.5	4.2	81.2	17.7	0.92	[15]
Amazon River	17.5	0.2	140	87.5	0.13	[16]
Orinoco River	8	0.3	110	26.7	0.073	[16]
Zaire River	6.5	0.8	165	8.1	0.039	[17]
Mississippi River	78.5	1.6	120	49.1	0.65	[18]
Rhine River	39.5	2.29		17.2		[19]
Loire River	41.3	0.83	163.1	49.8	0.25	[20]
长江	32.9	0.57	95	57.7	0.35	[21]
珠江	57.9	0.48	160	120.6	0.48	[21]
鸭绿江	309.8	0.04	168.4	7745	0.54	[22]
大辽河	7.5	1.71	29.3	4.39	3.91	[22]
滦河	74.2	0.51	87.2	145.5	1.18	[22]
黄河	193.9	0.29	124.6	668.6	0.64	未发表数据
大辽河	352.6	1.07	85.6	347.5	0.23	本研究
背景值	7.14	0.32		10.3		[23]

(1) 辽河口水域氮、磷的浓度皆较高;磷主要以磷酸盐的形式存在,其余依次是颗粒态磷、溶解有机磷,三者含量相差不大。氮主要以硝酸盐的形式存在,其余依次是溶解有机氮、颗粒态氮、亚硝酸盐、氨氮。

(2) 与《海水水质标准》(GB 3097-1997)比较,所测辽河口海域无机氮均劣于国家海水水质标准中四类海水水质的海域,磷酸盐也属于或高于四类海水水质,属于严重污染海域。

(3) 辽河口水域硝酸盐、亚硝酸盐、DON、DIN、DTN、TN、PP、DOP、DTP、TP、 SiO_3^{2-} -Si的行为是保守的,其行为主要受河水海水的物理混合过程所控制;而磷酸盐、PN、 NH_4^+ -N的行为是非保守的。

(4) 同世界上其他河流相比,大辽河硝酸盐的含量处于较高的水平,其含量明显高于世界其他河流;磷酸盐的含量与世界河流背景值相当,明显低于欧洲及北美地区其他的污染与富营养化河流。

参考文献:

[1] 蒋岳文,陈淑梅,关道明,等.辽河口营养要素的化学特性及其入海通量估算[J].海洋环境科学,1995,14(4):39-451.
 [2] 王继龙,郑丙辉,秦延文,等.辽河口水域溶解氧与营养盐调查与分类[J].海洋技术,2004,23(3):92-96.
 [3] 雷坤,郑丙辉,孟伟,等.大辽河口N、P营养盐的分

布特征及其影响因素[J].海洋环境科学,2007,26(1):19-22.
 [4] 叶红,潘蔚.辽河口沿岸水质污染的光谱检测研究[J].水土保持研究,2006,13(6):188-194.
 [5] 张正斌,陈镇东,刘莲生,等.海洋化学原理和应用-中国近海的海洋化学[M].北京:海洋出版社,1999:124.
 [6] 韦蔓新,赖廷和,何本茂.广西钦州内湾贝类养殖海区三氮的含量和百分组成[J].台湾海峡,2001,20(4):441-446.
 [7] 宋树林.车由岛附近海域营养盐分布特征[J].黄渤海海洋学报,1994,12(3):50-55.
 [8] GB 3097-1997,海水水质标准 [S].
 [9] PILSON M E O. Annual cycles of nutrients and chlorophyll in Narragansett Bay, Rhode Island[J]. J Mar Res, 1985, 43(4): 849-873.
 [10] SMITH S V. Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment[J]. Limnol Oceanogr, 1984, 29(6): 1149-1160.
 [11] Redfield A C, Ketchum B H, Richards F A. The influence of organisms on the composition of seawater[J]// HILLMAN The Sea, Vol.2. New York: Interscience, 1963: 26-77.
 [12] 胡明辉,杨逸萍.长江口浮游植物生长的磷酸盐限制

- [J]. 海洋学报, 1989, 11(4): 439-443.
- [13] 张均顺, 沈志良. 胶州湾营养结构变化的研究[J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(5): 529-535.
- [14] 郭卫东, 章小明, 杨逸萍, 等. 中国近岸海域潜在性富营养化程度的评价[J]. 台湾海峡, 1998, 17(1): 64-70.
- [15] 任景玲, 张经. 罗纳河中的铝、营养盐及常量元素的研究[J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(6): 993-1000.
- [16] Edmond J M, Spivack A, Grant B C, et al. Chemical dynamics of the Changjiang Estuary[J]. Continental Shelf Research, 1985, 4(1-2): 17-36.
- [17] Van Bennekom A J, Berger G W, Helder W, et al. Nutrient distribution in the Zaire Estuary and river plume[J]. Netherlands Journal of Sea Research, 1978, 12(3-4): 296-323.
- [18] Shiller A M. A mixing rate approach to understanding nutrient distributions in the plume of Mississippi River[J]. Marine Chemistry, 1993, 43(1-4): 211-216.
- [19] Hellmann H. Analysis of surface waters[M]. Horwood: West Sussex, 1987.
- [20] Meybeck M, Cauwet G, Dessery S, et al. Nutrients (organic C,P,N,Si) in the eutrophic river Loire (France) and its estuary[J]. Estuarine, Coast and Shelf Science, 1988, 27(6): 595-624.
- [21] Zhang J, Yu Z G, Wang J T, et al. The subtropical Zhujiang (Pearl River) Estuary: nutrient, trace species and their relationship to photosynthesis[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1999, 49(3): 385-400.
- [22] 张经. 中国主要河口的生物地球化学研究—化学物质的迁移与环境[M]. 北京: 海洋出版社, 1996: 208-209.
- [23] Meybeck M. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers[J]. Science, 1982, 288: 401-450.

The mixing behavior of nutrients in summer at Liaohe Estuary

YU Li-xia¹, JIAN Hui-min², WANG Zhao-kun², YAO Qing-zhen¹, CHEN Hong-tao¹

(1. Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Shandong Technical Center of Inspection & Quarantine, Shandong Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Qingdao 266003, China)

Received: Aug., 26, 2010

Key words: Liaohe estuary; nutrient; species; distribution; behavior

Abstract: Nutrients and their distribution at Liaohe estuary were studied in July 2009. Concentrations of nutrients varied at Liaohe estuary. At Liaohe estuary, phosphate was the predominant species of total phosphorus (TP), followed by particulate phosphorus (PP), and dissolved organic phosphorus (DOP); nitrate was the predominant species of total nitrogen (TN), followed by dissolved organic nitrogen (DON), particulate nitrogen (PN), and nitrite, ammonia. The data indicated that nitrate, nitrite, dissolved organic nitrogen (DON), dissolved inorganic nitrogen (DIN), dissolved total nitrogen (DTN), and total nitrogen (TN) behaved conservatively, while ammonia and particulate nitrogen (PN) did not. Particulate phosphorus (PP), dissolved organic phosphorus (DOP), dissolved total phosphorus (DTP), total phosphorus (TP), and silicate behaved conservatively, mainly controlled by mixing process of salt and fresh water. According to sea water quality standard, all the dissolved inorganic nitrogen fell short of the fourth category of sea water quality, and phosphate just reached or fell short of the fourth category of sea water quality.

(本文编辑: 康亦兼)