

# 广西铁山港附近海域营养盐分布及其季节变化

蓝文陆, 李天深, 韩丽君

(广西壮族自治区海洋环境监测中心站, 广西 北海 536000)

**摘要:** 通过3个航次的调查, 分析了2008年枯水季、丰水季和平水季广西铁山港附近海域无机氮、活性磷酸盐和活性硅酸盐的分布特征及营养盐结构特征, 探讨该海域营养盐季节变化及其影响因素。结果表明, 铁山港附近海域无机氮的浓度范围为1.03~44.99  $\mu\text{mol/L}$ , 活性磷酸盐浓度为0.03~1.57  $\mu\text{mol/L}$ , 活性硅酸盐的浓度为7.86~102.14  $\mu\text{mol/L}$ 。高浓度的营养盐主要分布在铁山港湾内及靠岸站点, 营养盐的浓度均从铁山港湾口向北海南部海域呈递减的趋势。无机氮、活性磷酸盐和活性硅酸盐显现了相近的季节变化特征, 即枯水期到丰水期浓度增加之后从丰水期到平水期浓度降低。该海区无机氮主要以硝酸盐氮和氨氮占最主要比重, 枯水期和丰水期以硝酸盐氮为主而平水期以氨氮为主。海区N/P和Si/P较高, 表明该海区N限制减弱而P限制加重。铁山港营养盐的季节变化主要受到径流等输入的影响, 浮游植物的消耗也可能是其季节变化的原因之一。

**关键词:** 北部湾铁山港; 营养盐分布; 季节变化; 影响因素

中图分类号: Q946 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2014)07-0063-07

doi: 10.11759/hyxx20100812001

北海铁山港是广西的重要港区之一, 位于北部湾东北端, 是一个三面为陆地环抱、湾口朝南、狭长的喇叭状海湾, 与两广交界的英罗港相邻。北部湾经济区发展规划获批后, 铁山港定位为未来大西南重要的出海口, 是北海市的主要工业基地。近年来沿岸又掀起了以对虾增养殖为主的海洋开发热潮, 来源于养殖自身的污染物呈明显加重趋势<sup>[1]</sup>。同时, 铁山港附近海区内有红树林、海草床等重要的生态系统, 也是珍珠贝等重要海产品的繁殖场所。随着铁山港及周边地区经济的快速发展, 水域污染逐渐加重, 给铁山港附近海洋生态系统造成了巨大的压力<sup>[2]</sup>。营养盐是海洋生物重要的生源要素, 也是广西近岸海水质量超标的主要因子之一, 水体富营养化潜在威胁着铁山港附近海区的重要海洋生物, 而对于铁山港附近海域营养盐的空间分布特征和季节变化的报道很少。<sup>[1]</sup>因而探讨该湾及周围水体营养盐的分布与季节变化特征, 对于海区的环境保护及其合理开发均具有重要的现实意义。

## 1 材料与方 法

### 1.1 调查时间与 站 位

2008年3月22日、7月13~15日和10月27日, 分别在对应的枯水期、丰水期和平水期, 从铁山港湾

内到北海南部海域进行了调查, 在铁山港附近海域共布设T1至T10共10个站点(图1)。其中, T1~T4站点位于铁山港湾及河口, T5~T10位于北海南部海域。7月份由于采样中遇到大雨, T6、T9和T10比其他站点推迟两天采样。

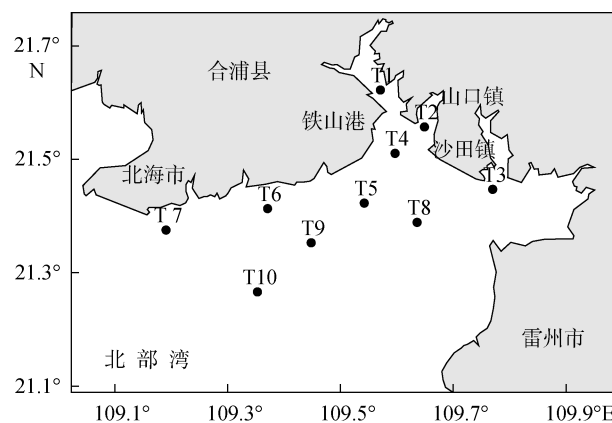


图1 站点分布

Fig.1 Location of sampling stations

收稿日期: 2013-02-11; 修回日期: 2013-05-10

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科合 14125008-2-8; 桂科攻 14124004-3-13); 广西自然科学基金项目(2013GXNSFA-A019281; 2013GXNSFBA019224); 国家环境保护公益性行业科研专项项目(201309008)

作者简介: 蓝文陆(1980-), 男, 壮族, 广西河池市人, 博士, 主要从事环境生态学研究, 电话: 0779-6801303, E-mail: dr.lan@139.com

## 1.2 现场采样与样品分析

各测站采集表层海水样品(水面下 0.5 m), 样品用 5 L 的采水器采集。

营养盐样品现场通过 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜过滤后滤液带回实验室测定。测定方法依据国家《海洋监测规范》<sup>[3]</sup>进行, 其中硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和氨氮分别采用镉柱还原法、萘乙二胺分光光度法和次溴酸盐氧化法, 其检出限分别为 0.15、0.05 和 0.22  $\mu\text{mol/L}$ ; 无机氮浓度为硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和氨氮浓度之和; 活性磷酸盐采用磷钼蓝萃取分光光度法, 检出限为 0.02  $\mu\text{mol/L}$ ; 活性硅酸盐采硅钼黄分光光度法, 检出限为 2.86  $\mu\text{mol/L}$ 。

水温和盐度现场采用便携式水质参考数仪, pH、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、叶绿素 a(Chl-a)等环境因子测定方法依据国家《海洋监测规范》<sup>[3]</sup>进行。样品分析过程中采取 10%以上平行样测定及加标回收实验进行质量控制。

## 1.3 数据处理

调查海区营养盐与各环境因子的相互关系采用 Pearson 相关性分析, 均值差异性分析采用配对数据  $t$  检验,  $P < 0.05$  为显著差异, 所有统计分析均在软件 SPSS 17.0 下进行。

## 2 结果

### 2.1 环境参数的变化

铁山港附近海域表层温度和盐度的变化见图 2。铁山港附近海域调查期间表层海水温度变化范围为 19.0~29.1 $^{\circ}\text{C}$ 。枯水期表层温度明显低于丰水期和平水期( $P < 0.05$ ), 除了铁山港内的 T1 站, 温度变化呈现岸边往离岸方向降低的趋势。丰水期表层温度较高, 高温区集中在铁山港附近站点。平水期海水表层温度介于枯水期和丰水期之间, 且变化幅度小, 变化范围为 25.2~27.0 $^{\circ}\text{C}$ 。

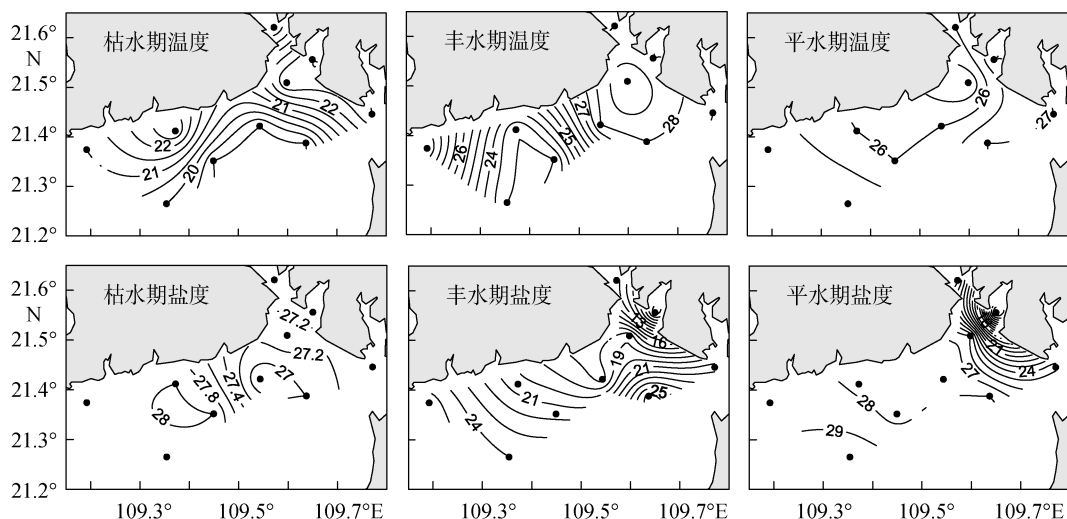


图 2 铁山港附近海域温度( $^{\circ}\text{C}$ )和盐度的分布

Fig.2 Distribution of temperature and salinity in the Tieshangang bay

铁山港附近海域调查期间表层海水盐度变化幅度较大, 变化范围为 6.2~29.8。表层温度的变化趋势在枯水期、丰水期和平水期的相似, 从铁山港逐渐向北海南部海域递增, 丰水期和平水期的最低温度均在 T2 站(图 1)。枯水期表层盐度高于丰水期和平水期( $P < 0.05$ )且变化很小, 盐度变化范围为 26.8~28.0, 最低盐度在 T1 站。铁山港内丰水期盐度最低, 其次为平水期, 枯水期盐度最高。北海南部海域丰水期盐度低, 但枯水期和平水期变化不大(图 1)。

调查期间其他环境参数的变化见表 1。pH 变化范围为 7.42~8.20, 3 个水期的平均值相同, 没有

较大的变化。DO 浓度为 4.4~7.2 mg/L, 最低值出现在枯水期的 T2 站, 除了该值之外, DO 浓度在各水期的变化不明显。COD 浓度范围为 0.08~2.70 mg/L, 最低值出现在丰水期的 T9 站, 最高值出现在丰水期的 T2 站, COD 浓度明显高于枯水期( $P < 0.05$ ), 平均浓度平水期最高, 其次为丰水期, 枯水期最低。Chl-a 浓度变化范围为 0.11~10.08  $\mu\text{g/L}$ , 丰水期和平水期的 Chl-a 浓度明显高于枯水期( $P < 0.05$ )。

### 2.2 营养盐的空间分布特征

图 3 列出了铁山港附近海域枯水期、丰水期和平水期

表 1 铁山港附近海域环境参数的季节变化

Tab. 1 Seasonal variation of environmental parameters in the Tieshangang bay

项目	枯水期		丰水期		平水期	
	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
pH	7.90~8.21	8.04	7.6~8.20	8.04	7.42~8.14	8.04
DO (mg/L)	4.4~7.2	6.46	6.3~6.8	6.57	6.1~7.0	6.63
COD (mg/L)	0.52~1.07	0.77	0.08~2.70	1.35	0.96~2.60	1.64
Chl-a (μg/L)	0.11~0.82	0.44	1.75~10.08	5.12	1.4~9.24	3.00

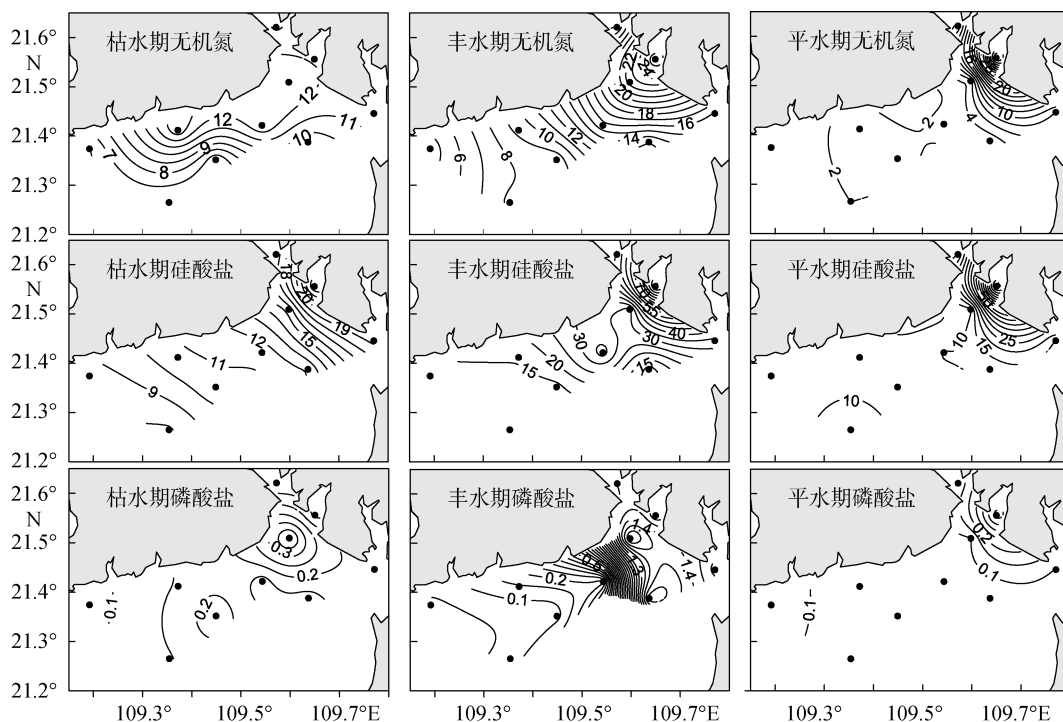


图 3 铁山港附近海域营养盐(μmol/L)的分布

Fig.3 Distribution of nutrition concentration in the Tieshangang bay

平水期表层营养盐浓度的分布情况。无机氮在枯水期的变化范围为 5.95~13.79 μmol/L, 较高浓度在铁山港附近, 由铁山港湾外向北海南部海域浓度递减, 最高浓度出现在综合排污口附近的 T4、T5 和 T6 三个站点, 最低浓度出现在北海南部西南海域。丰水期无机氮浓度变化范围为 4.45~27.04 μmol/L, 最高浓度出现在 T2 站, 浓度由铁山港湾口附近向湾内和湾外及北海南部海域逐渐减少。平水期无机氮浓度变化范围为 1.03~44.99 μmol/L, 其空间分布与丰水期接近, 最高浓度出现在铁山港湾口的 T2 站, 且浓度为 3 个调查航次的最高浓度。平水期北海南部海域无机氮浓度较低且变化幅度较小。

活性硅酸盐在枯水期、丰水期和平水期的浓度变化范围分别为 7.86~23.93、7.86~102.14 和 7.86~99.29 μmol/L, 最低浓度出现在靠外海域的 T8、T9

和 T10 站点, 最高浓度为 102.14 μmol/L 出现在丰水期的 T2 站。枯水期、丰水期和平水期活性硅酸盐的分布基本一致, 浓度由铁山港湾口附近的 T2 站向湾内、湾外和西南的北海南部海域逐渐降低(图 3)。

活性磷酸盐在枯水期的变化范围为 0.08~0.42 μmol/L, 最高浓度出现在综合排污口附近的 T4 站, 最低浓度出现在北海南部的 T7 站, 其他站点之间的浓度变化较小。丰水期活性磷酸盐浓度变化幅度较大(0.03~1.57 μmol/L), 最高浓度出现在 T2 站, 活性磷酸盐浓度由铁山港湾口附近向北海南部海域自东向西逐渐降低。平水期活性磷酸盐浓度变化范围为 0.06~0.43 μmol/L, 其空间分布与丰水期接近, 浓度从铁山港湾口附近向湾内外和北海南部海域急剧降低, 北海南部海域活性磷酸盐浓度集中在 <0.10 μmol/L 的低浓度水平上(图 3)。

## 2.3 海区营养盐浓度的季节变化

铁山港附近海域营养盐的变化幅度较大, 为方便比较其季节变化, 我们将其分为铁山港(T1-T4 站)和北海南部(T5-T10 站)两个海区, 这两个海区营养盐的平均浓度变化见图 4。铁山港无机氮丰水期平均

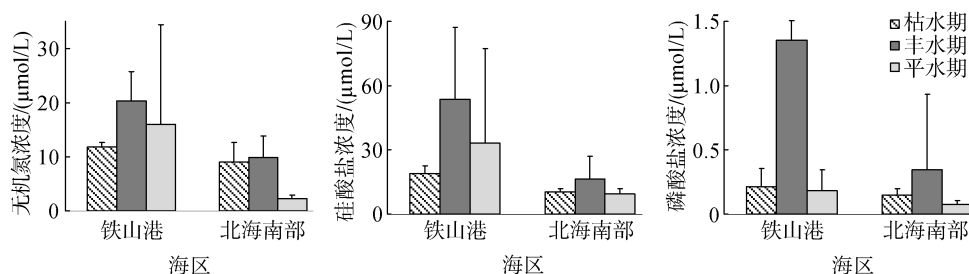


图 4 海区营养盐平均浓度的季节变化

Fig.4 Variation of nutrition average concentration among seasons

铁山港活性硅酸盐平均浓度的季节变化和无机氮的变化趋势接近(图 4), 丰水期浓度明显高于枯水期和平水期( $P < 0.05$ ), 而枯水期和平水期之间的差异不显著。北海南部海区活性硅酸盐平均浓度丰水期明显高于枯水期和平水期( $P < 0.05$ ), 枯水期和平水期平均浓度很接近, 分别为  $10.24 \mu\text{mol/L}$  和  $9.35 \mu\text{mol/L}$ 。

铁山港和北海南部海区活性磷酸盐在三个水期中的变化趋势一致, 丰水期平均浓度高于枯水期和平水期( $P < 0.05$ ), 枯水期和平水期之间没有明显差异(图 4)。铁山港区活性硅酸盐在丰水期的平均浓度达到  $1.35 \mu\text{mol/L}$ , 与其他两个水期的差距很大, 丰水期的平均浓度分别为枯水期和平水期平均浓度的 6.3 倍和 7.4 倍。

## 2.4 营养盐的结构特征

图 5 列出了枯水期、丰水期和平水期三种无机氮营养盐的百分比结构组成。铁山港附近海域无机氮由硝酸盐氮和氨氮占据绝大部分比重, 亚硝酸盐氮所占的比重非常少, 三个调查航次中亚硝酸盐氮所占的比重为  $0.4\% \sim 8.3\%$ 。枯水期除了北海南部海区的 T7、T8 和 T9 三个站点以硝酸盐氮为主要组成部分之外, 其他站点硝酸盐氮和氨氮各分秋色, 而亚硝酸盐氮的比重是三个航次中最低的, 其占无机氮的平均比重仅为  $1.4\%$ , 低于丰水期和平水期亚硝酸盐氮的平均比重。丰水期除了 T7 站以氨氮为无机氮主要组成之外, 硝酸盐氮占据无机氮的主要部分 ( $52\% \sim 64\%$ ), 且铁山港和北海南部海区的结构较接近。平水期铁山港硝酸盐氮的比重明显高于北海南部海区的比重, 但除了 T2 站硝酸盐氮占据绝大部分无机氮之外, 其他站点均以氨氮作为无机氮的最主

浓度最高, 明显高于枯水期( $P < 0.05$ ), 而丰水期和平水期以及枯水期和平水期之间没有统计学上的显著差异。北海南部海区无机氮在枯水期和丰水期平均浓度很接近, 平水期无机氮浓度明显低于丰水期和枯水期( $P < 0.01$ )。

要组成部分( $53\% \sim 84\%$ )。

铁山港附近海域 N/P 较高, 3 个调查航次 N/P 的范围为  $8.2 \sim 106.7$ (表 2)。枯水期铁山港及北海南部海区 N/P 都比较高( $>25$ ), 而丰水期和平水期部分站点略有降低。调查海区 Si/P 也处于较高水平, 平均值大于 92。Si/N 除了枯水期和丰水期少数站点外均大于 1(表 2)。表 2 同时列出了营养盐平均比值的季节变化, N/P 平均值从枯水期、丰水期和平水期逐渐下降, 而 Si/P 和 Si/N 却逐渐升高。

## 2.5 营养盐与环境因子的相关性

表 3 列出了铁山港附近海域 3 种营养盐和环境参数之间的相互关系。无机氮与盐度和 pH 有非常显著的负相关性, 而与 COD 和 Chl-a 有显著的正相关性。活性磷酸盐与盐度也有非常显著的负相关性, 与温度有正相关性。活性硅酸盐与盐度和 pH 有非常显著的负相关, 与 COD 和 Chl-a 有非常显著的正相关。三种营养盐浓度与 DO 之间均没有明显的相关性(表 3)。

## 3 讨论与结论

### 3.1 营养盐浓度与北部湾其他海湾及铁山港历史数据的比较

本次调查结果显示, 2008 年铁山港附近海域无机氮的浓度为  $1.03 \sim 44.99 \mu\text{mol/L}$ , 活性磷酸盐的浓度为  $0.03 \sim 1.57 \mu\text{mol/L}$ , 活性硅酸盐的浓度为  $7.86 \sim 102.14 \mu\text{mol/L}$ 。从无机氮和活性磷酸盐浓度来看, 2008 年的调查结果在平水期和枯水期(除 T2 站之外), 无机氮和活性磷酸盐的浓度均低于海水一类水质标准限值。而丰水期大部分站点无机氮和活性

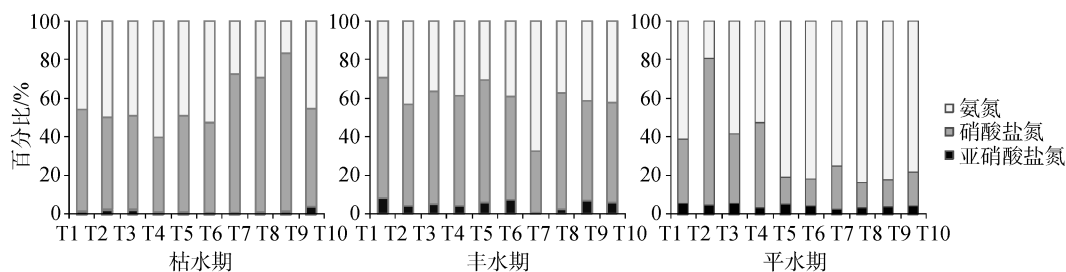


图5 铁山港附近海域无机氮的百分比结构

Fig.5 Percentage structures of inorganic nitrogen in the Tieshangang bay

表2 铁山港附近海域 N/P、Si/P 和 Si/N 的季节变化

Tab.2 Seasonal variation of N/P, Si/P and Si/N in the Tieshangang bay

项目	枯水期		丰水期		平水期	
	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
N/P	25.8~102.5	68.0	8.5~106.7	56.2	8.2~105.6	49.0
Si/P	36.9~176.6	92.0	5.1~420.7	120.7	48.3~233.2	135.1
Si/N	0.8~2.0	1.4	0.6~3.8	2.1	1.6~6.2	3.4

表3 铁山港附近海域营养盐浓度与环境参数之间的相关系数

Tab.3 Correlation coefficient between nutrition and other environmental factors in the Tieshangang bay

项目	温度	盐度	pH	DO	COD	Chl-a
无机氮	0.140	-0.784**	-0.759**	-0.056	0.373*	0.390*
磷酸盐	0.367*	-0.524**	-0.302	0.020	0.276	0.179
硅酸盐	0.364*	-0.930**	-0.863**	-0.104	0.672**	0.516**

注: n=30; \*, P<0.05; \*\*, P<0.01

磷酸盐浓度多数处在二类水质标准范围内,少数站点达到三类和四类水质标准,表明该海区枯水期和平水期水质较好,而丰水期局部海区水质有所恶化。

铁山港湾及北部湾其他主要海湾各水期营养盐的平均浓度见表4。铁山港湾枯水期的无机氮和硅酸盐高于北海湾、三娘湾和防城港湾的枯水期平均浓度,但铁山港湾丰水期的无机氮平均浓度低于北海湾和钦州湾,活性硅酸盐丰水期浓度也低于防城港湾,这可能是由于铁山港湾缺少较大的河流,其是广西六大港湾中径流相对较小的港湾<sup>[1]</sup>,径流和营养盐输入相对这几个海湾少而导致丰水期营养盐水平低于其他海湾。

从表4同时也可以看到,除了1984年的磷酸盐之外,2008年铁山港湾调查的营养盐浓度与20世纪八九十年代比有明显增加。韦蔓新等<sup>[2]</sup>也指出1999年铁山港与1984年比无机氮和硅酸盐呈上升趋势,而P则呈下降趋势,与本次调查结果相符,从而导致该海区氮限制减弱而磷限制增加的趋势。表4同时显现了在2000年以前,铁山港湾的营养盐水平低于广西的其他海湾,但到本研究的调查期间,铁山港

湾营养盐水平明显高于20世纪其他海湾的水平。由于广西沿海地区经济发展,各海湾的海洋环境均产生了相应的变化,其他海湾的营养盐水平也发生了变化,因而用本研究调查期间的营养盐无法对铁山港湾和其他海湾进行很好的横向对比。此外,从2003年到2008年铁山港湾营养盐水平发生了较大的变化,中间相隔的年份也比较长,需要更充分的数据才能较好地展现铁山港湾营养盐长期的变化过程。因此以后的工作需要采用各海湾同期数据以及铁山港湾长期调查数据对广西主要海湾营养盐水平的比较和铁山港湾营养盐长期变化过程进行研究。

### 3.2 铁山港营养盐分布与季节变化的主要影响因素

输入与消耗被普遍认为是营养盐分布和变化的主要因素。河口和近岸受多方面因素影响,其营养盐状况复杂。一般来说,河口和近岸的营养盐来源主要有:与离岸水的交换、河流、地下水、海洋排污以及大气输入等<sup>[10-13]</sup>。其中,河流输入和浮游植物消耗一直是研究人员关注的焦点。之前铁山港及广西其他邻近海湾的研究也表明陆源径流、有机体再生补充

表 4 北部湾主要海湾的营养盐平均浓度

Tab.4 Average concentration of nutrition in main bays of the Beigu Gulf

海湾和海区	调查时间及参考文献	无机氮( $\mu\text{mol/L}$ )	活性磷酸盐( $\mu\text{mol/L}$ )	活性硅酸盐( $\mu\text{mol/L}$ )
北海湾	1999-01 <sup>[4-5]</sup>	1.22	0.24	9.59
	1999-04 <sup>[4-5]</sup>	26.06	0.21	-
钦州湾	1999-05 <sup>[6]</sup>	42.54	0.21	-
三娘湾	2000-03 <sup>[6]</sup>	2.85	0.14	-
防城港湾	1996-12 <sup>[7]</sup>	3.34	0.11	7.49
	1997-07 <sup>[7]</sup>	11.83	0.70	40.24
铁山港湾	1984-01 <sup>[8]</sup>	0.25	0.33	6.67
	1999-12 <sup>[8]</sup>	0.99	0.11	8.19
	2003-06 <sup>[11]</sup>	1.64	0.05	-
	2008-03 本研究	10.13	0.17	13.64
	2008-07 本研究	14.04	0.75	31.32
	2008-10 本研究	7.76	0.12	18.86

和浮游植物消耗影响营养盐的分布和变化<sup>[2,6,12]</sup>。本次研究结果显示,无机氮、活性磷酸盐和活性硅酸盐浓度在三个水期的空间分布都是从铁山港湾口向湾内和北海南部海区递减(图 3),无机氮和活性硅酸盐最高浓度在盐度最低的河口,其分布显现了随着盐度增加而降低的趋势(图 2 和图 3),无机氮、活性磷酸盐和活性硅酸盐浓度与盐度之间的相关性最显著(表 3),表明了径流输入对营养盐的分布和季节变化有重要的影响,尤其是无机氮和硅酸盐受的影响最显著。从无机氮的三氮结构上看,丰水期以及平水期的 T2 站硝酸盐氮占据绝大部分的比重,说明丰水期研究海域无机氮处于过剩状态,氮的循环受到阻碍,输入大于输出<sup>[11]</sup>,表明无机氮受径流输入的影响。从无机氮和硅酸盐平均浓度的季节变化也可以看出,径流输入较强的丰水期浓度高而枯水期浓度低(图 4),径流输入影响着营养盐的季节变化。由于受径流的稀释作用,该海区 pH 显现近岸受径流影响明显海区较高而在径流影响较小的海区较低,因而海区 pH 的分布与盐度正好相反<sup>[2]</sup>。从而本研究中营养盐和 pH 有显著的正相关,也正好印证了径流对营养盐的影响作用。活性磷酸盐的最高浓度在枯水期和丰水期均不出现在盐度最低点而在综合排污口附近,且活性磷酸盐与盐度的相关性也明显低于无机氮和硅酸盐,表明径流对该海区磷酸盐的输入明显不如无机氮和硅酸盐,城市排污对海区活性磷酸盐的分布和季节变化有重要的作用。

浮游植物是消耗水体中营养盐的关键生物因素,因而影响营养盐的分布与变化。本研究中无机氮和活性硅酸盐与浮游植物(Chl-a)显著正相关,表明营

养盐对浮游植物的生长起重要的影响作用。而由于该海区 N 和 Si 的补充,浮游植物的消耗并没有明显影响营养盐的分布与变化。但从枯水期和平水期北海南部海域的营养盐浓度与浮游植物生物量比较可看出,枯水期由于相对低温,浮游植物生长缓慢生物量较少,海区营养盐较高;而平水期由于高温促进浮游植物生长,浮游植物生物量处在较高水平(表 1),浮游植物的消耗导致了北海南部海区营养盐明显比枯水期低;而丰水期由于径流输入远大于浮游植物消耗而使得该海区营养盐较高浓度。从无机氮的结构来看,从丰水期到平水期,除了 T2 站之外无机氮由硝酸盐氮占据最大比例转向了氨氮比重最大(图 5),浮游植物生物量也保持在较高的水平但已低于丰水期(表 1),说明很可能是浮游植物消耗硝酸盐氮<sup>[12]</sup>且消亡过程中有机氮分解使氨氮供应增加<sup>[14-15]</sup>。由此可见径流输入和浮游植物消长对研究海域营养盐的分布和季节变化也有着重要的影响,而其结果会导致营养盐结构的变化(表 2)。

此外,铁山港附近海域无机氮和活性硅酸盐与 COD 有正相关,这与之前报道的该海区高潮时营养盐与 COD 的关系一致<sup>[8]</sup>,表明有机物的分解也对营养盐的浓度有影响。但本研究中硅酸盐与 COD 的正相关性较好而与无机氮的相关性不高,表明有机物的分解补充对营养盐的分布与季节变化影响有限。但 COD 的季节变化和无机氮三氮的结构变化中可以看出, COD 浓度变化与无机氮的三氮结构变化有着很大的相关性(图 5)。一般来说,水体净化能力越强,转化为硝酸盐氮的程度越高,反之亚硝酸盐氮或氨氮程度越高<sup>[1]</sup>。从枯水期到丰水期和平水期, COD 平均浓度增加(表 1),水体净化能力也发生了变化。在

平水期, 由于 COD 浓度的增加, 有机物分解以及浮游植物的吸收, 导致硝酸盐氮比例的减少而氨氮比例的增加, 无机氮结构发生了较大的变化(图 5), 可见 COD 浓度对无机氮的结构变化也有着影响。

## 参考文献:

- [1] 何本茂, 韦蔓新. 铁山港湾水体自净能力及其与环境因子的关系初探[J]. 海洋湖沼通报, 2006, 3: 21-26.
- [2] 韦蔓新, 赖廷和, 何本茂. 铁山港湾水质状况发展趋势[J]. 海洋通报, 2001, 21(5): 69-74.
- [3] 中国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋监测规范 GB17378.4—2007, 第 4 部分: 海水分析[S]. 中国标准出版社, 2007.
- [4] 韦蔓新, 童万平, 何本茂, 等. 北海湾无机磷和溶解氧的空间分布及其相互关系研究[J]. 海洋通报, 2000, 19(4): 29-35.
- [5] 韦蔓新, 童万平, 何本茂, 等. 北海湾无机氮的分布及其与环境因子的关系[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(2): 25-29.
- [6] 韦蔓新, 赖廷和, 何本茂. 钦州三娘湾营养盐的分布及其化学特性[J]. 广西科学, 2001, 8(4): 291-294.
- [7] 赖廷和, 韦蔓新. 防城港水化学要素含量的分布特征及相互关系[J]. 台湾海峡, 2002, 21(4): 422-426.
- [8] 韦蔓新, 童万平, 赖廷和, 等. 铁山港湾生原要素的变化特征及其影响因素[J]. 海洋湖沼通报, 2001, 4: 23-27.
- [9] 裴绍峰, 沈志良. 长江口上升流区营养盐的分布及其通量的初步估算[J]. 海洋科学, 2008, 32(9): 64-70.
- [10] 张哲, 王江涛. 胶州湾营养盐研究概述[J]. 海洋科学, 2009, 33(11): 90-94.
- [11] 张继民, 刘霜, 张琦, 等. 黄河口附近海域营养盐特征及富营养化程度评价[J]. 海洋通报, 2008, 27(5): 65-72.
- [12] 阚文静, 张秋丰, 石海明, 等. 近年来渤海湾营养盐变化趋势研究[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(2): 238-241.
- [13] 张静, 张瑜斌, 周凯, 等. 深圳湾海域营养盐的时空分布及潜在性富营养化程度评价[J]. 生态环境学报, 2010, 19(2): 253-261.
- [14] 池缔萍, 郭翔宇, 钟仕花. 近 5a 来深圳大鹏湾南澳赤潮监控区营养盐变化及其结构特征[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(4): 564-569.
- [15] 何本茂, 韦蔓新. 钦州湾近 20a 来水环境指标的变化趋势 VII: 水温、盐度和 pH 的量值变化及其对生态环境的影响[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(1): 51-55.

## Distribution and seasonal variation of nutrition in the adjacent waters of Tieshangang bay in Guangxi

LAN Wen-lu, LI Tian-shen, HAN Li-jun

(Marine Environmental Monitor Center of Guangxi, Beihai, 536000, China)

Received: Feb., 11, 2013

Key words: Tieshangang bay; nutrition distribution; nutrition structure; seasonal variation

**Abstract:** Based on the data obtained from three cruises in dry, flood and normal seasons in 2008, the spatial distribution and seasonal variation of inorganic nitrogen, reactive silicate and phosphate as well as nutrient structure in adjacent waters of the Tieshangang bay in Guangxi were studied. The concentration of inorganic nitrogen ranged from 1.03 to 44.99  $\mu\text{mol/L}$ , while the reactive silicate ranged from 0.03 to 1.57  $\mu\text{mol/L}$  and phosphate ranged from 7.86 to 102.14  $\mu\text{mol/L}$ , respectively. The high nutrient concentration was mainly located in the inner of the Tieshangang bay and coastal stations. Concentration of nutrition gradually decreased from the mouth of Tieshangang bay to the sea area in the south of Beihai city. Similar seasonal changes of inorganic nitrogen, reactive silicate and phosphate were also observed, which increased from dry season to flood season, and then fell in normal season. Nitrate and ammonia are the major composition of the inorganic nitrogen in the study area. Nitrate took the largest part of nitrogen in dry season and flood season, while turned to ammonia in normal season. The ratio of N : P and Si : P was relatively high in the study area, and P became the limited nutrition. Seasonal variation of nutrition in the Tieshangang bay is mainly influenced by river run-off and phytoplankton consumption.

(本文编辑: 张培新)