

2003~2010年铁山港湾营养盐的变化特征*

Variation Characteristics of Nutrient Concentrations in the Tieshangang Bay

蓝文陆,彭小燕

LAN Wen-lu, PENG Xiao-yan

(广西壮族自治区北海海洋环境监测中心站,广西北海 536000)

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

摘要:2003~2010年对广西铁山港湾进行22个航次的调查,采集海水样品分析该港湾硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、无机氮、活性磷酸盐和活性硅酸盐8年的浓度变化特征和季节变化特征,并结合文献资料,比较该期间铁山港湾与钦州湾海水营养盐浓度变化的异同。结果,2003~2010年间铁山港附近海域无机氮浓度为0.21~47.86 $\mu\text{mol/L}$,活性磷酸盐的浓度为0.01~0.71 $\mu\text{mol/L}$,活性硅酸盐的浓度为4.29~124.29 $\mu\text{mol/L}$ 。2003~2010年营养盐在各年空间分布和季节变化上没有呈现出一致性,总体上营养盐呈现出从白沙河口及内湾向湾外递减的空间分布特征,季节变化总体上呈现出无机氮丰水期明显高于平水期和枯水期、硅酸盐在丰水期和平水期浓度较高而枯水期较低、磷酸盐在各水期变化不大的特征。2003~2010年间铁山港湾营养盐浓度呈现出先增加后回落的趋势,与钦州湾的逐渐增加趋势不同。铁山港湾营养盐的长期变化主要是受径流、陆源污染和营养盐再生等影响。

关键词:营养盐 变化特征 空间分布

中图法分类号:P734.2 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2011)04-0380-05

Abstract:Based on the data obtained from twenty-two cruises in the last eight years from 2003 to 2010, long-term variations of nitrate, nitrite, ammonia, inorganic nitrogen, reactive phosphate and silicate in the Tieshangang bay were studied. The result showed that concentration of inorganic nitrogen ranged from 0.21 to 47.86 $\mu\text{mol/L}$, reactive silicate ranged from 0.01 to 0.71 $\mu\text{mol/L}$ and phosphate ranged from 4.29 to 124.29 $\mu\text{mol/L}$, respectively. Spatial distribution of nutrient concentration among stations and the changes in different seasons were variable during the last eight years, and consistent changes in nutrient distribution and seasonal variation were not observed among those years in the Tieshangang bay. Long-term variation of nutrition concentration showed increasing trend from 2003 to 2008 and then decreased, which was a little different from that in the Qinzhou bay. Long-term variations of nutrition in the Tieshangang bay were mainly influenced by river run-off, land pollution and nutrient regeneration.

Key words: nutrient, variation characteristic, spatial distribution

北海铁山港是广西的重要港区之一,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,铁山港湾经济开始快速发展,来源于工业、生活和养殖的污

染呈明显加重趋势^[1]。铁山港附近海区内有山口红树林国家级自然保护区和合浦儒艮国家级自然保护区,分布着红树林、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。营养盐是控制海洋植物的生长和海洋初级生产力的重要生源要素^[2],也是我国海湾水质超标的主要影响因子之一^[2~4]。养殖导致的营养负荷,是导致海草床退化的原因之一^[5],营养盐浓度也影响着大型海藻的吸收^[6],水体富营养化潜在影响着铁山港附近海区的重要海洋生物。铁山港湾营养盐浓度及其变化虽有过少量报

收稿日期:2011-05-27

修回日期:2011-06-14

作者简介:蓝文陆(1980-),男,博士,主要从事环境生态监测与研究。

* 广西自然科学基金项目(2010GXNSFB013003, 2011GXNSFB018006)、广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻1140002-2-1)资助。

道^[1,3,7],但仍未见有过营养盐浓度长期连续变化的报道,尤其是定点站位长期的变化。本文探讨该湾水体营养盐浓度和富营养化的 2003~2010 年的变化,以期对海区的环境保护及其合理开发均起到一定的指导意义。

1 材料与方法

1.1 调查时间与站位

2003 年至 2010 年,分别在对应的枯水季(1~3 月)、丰水季(6~8 月)和平水季(10~11 月)对铁山港湾海水进行每年 3 次共 22 次综合调查。在铁山港湾内和湾口以及红树林保护区和儒艮保护区内共布设 4 个站位(图 1),其中 T1 站点位于铁山港湾内,T2 位于白沙河口的红树林保护区附近,T3 位于铁山港湾口,T4 位于铁山港湾外海域的儒艮保护区内。

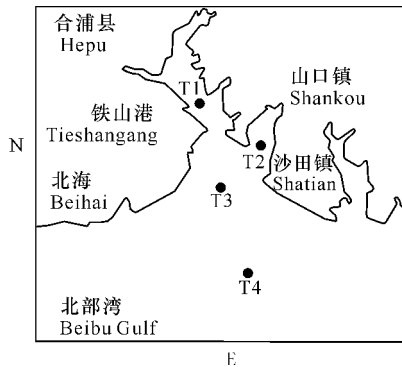


图 1 站点布设

Fig.1 Location of sampling stations

T₁, T₂, T₃, T₄ 为站位。T₁, T₂, T₃, T₄ are station.

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 5L 的采水器采集。

营养盐样品现场通过 0.45 μ 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》^[8]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 0.002mg/L、0.0006 mg/L 和 0.003mg/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 0.0004mg/L;活性硅酸盐采硅钼黄分光光度法,检出限为 0.08mg/L。

水温和盐度现场采用直读式盐度计数据,pH 值、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、悬浮物(SS)和叶绿素 a(Chl-a)等环境因子测定方法依据国家《海洋监测规范》^[8]进行。

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, $P < 0.05$ 为显著差异,所有统计分析均在软件 SPSS 17.0 下进行。

2 结果与分析

2.1 营养盐的浓度变化范围

从 2003 年到 2010 年,铁山港无机氮、活性磷酸盐和活性硅酸盐的浓度变化范围分别为 0.21~47.86 μ mol/L、0.01~0.71 μ mol/L 和 4.29~124.29 μ mol/L,平均值分别为 7.30 μ mol/L、0.15 μ mol/L 和 29.40 μ mol/L。铁山港 2003~2010 年间各连续站点营养盐浓度在 3 个水季中的变化范围见表 1。无机氮在枯水期、丰水期和平水期的浓度变化范围分别为 0.50~47.86 μ mol/L、0.93~27.79 μ mol/L 和 0.21~45.00 μ mol/L。无机氮浓度在丰水期最高,枯水期和平水期接近,空间分布呈现由白沙河口和湾内向湾口、湾外逐渐降低趋势。

磷酸盐在枯水期、丰水期和平水期的浓度变化范围分别为 0.01~0.42 μ mol/L、0.02~0.53 μ mol/L 和 0.03~0.71 μ mol/L。各站点磷酸盐季节变化不大且变化趋势不一致,T1 和 T3 站丰水期低于枯水期和平水期,而 T2 站和 T4 站则是丰水期与平水期接近且高于枯水期。各水季磷酸盐的空间分布变化也不一致,丰水期平均浓度变化为 T₂>T₄>T₁>T₃,平水期和平水期 T₂ 站浓度较高而其它 3 个站点较低。

硅酸盐在枯水期、丰水期和平水期的浓度变化范围分别为 4.29~87.86 μ mol/L、5.00~124.29 μ mol/L 和 5.00~122.82 μ mol/L。T₂ 站丰水期明显高于枯水期和平水期且枯水期和平水期浓度接近,其它站点枯水期最低而丰水期和平水期接近。各站点硅酸盐在 3 个水期的空间变化与无机氮一致,由白沙河口和湾内向湾口、湾外逐渐降低。

2.2 三氮和无机氮浓度的变化

从图 2(纵坐标刻度从左至右依次为各年的 3 月、7 月、11 月)可以看出 2006 年以前,亚硝酸盐氮维持在较低浓度水平(<1.00 μ mol/L),2006 年 3 月至 2009 年 7 月期间,亚硝酸盐氮浓度明显增加,2007 年丰水期浓度增至最高,2009 年 7 月以后亚硝酸盐氮浓度开始回落并维持在 1.0 μ mol/L 左右水平。氨氮的浓度变化与亚硝酸盐氮相近,2006 年以前各站点氨氮浓度在 3 μ mol/L 以下,之后呈升高趋势,到 2009 年 10 月份之后浓度开始降低至接近 2006 年以前的水平。

表 1 2003~2010 年间铁山港湾营养盐的浓度变化范围

Table 1 Variation of nutrient concentration in the Tieshangang bay from 2003 to 2010

Station	Season	无机氮		磷酸盐		硅酸盐	
		Inorganic nitrogen($\mu\text{mol/L}$)		Silicate($\mu\text{mol/L}$)		Phosphate($\mu\text{mol/L}$)	
		范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
		Range	Average	Range	Average	Range	Average
T1	枯水季 Dry season	2.14~10.86	5.42	0.04~0.34	0.14	4.29~25.00	14.55
	丰水季 Flood season	0.86~22.86	12.49	0.02~0.17	0.11	10.05~0.36	31.73
	平水季 Normal season	1.71~9.29	5.08	0.03~0.71	0.19	5.00~48.57	32.80
T2	枯水季 Dry season	2.43~28.79	10.35	0.03~0.29	0.20	14.29~87.86	39.01
	丰水季 Flood season	1.00~47.86	18.64	0.03~0.53	0.23	37.50~124.29	72.81
	平水季 Normal season	1.07~45.00	9.93	0.10~0.55	0.25	9.29~99.29	37.05
T3	枯水季 Dry season	1.14~12.86	5.09	0.02~0.42	0.14	7.14~15.36	11.56
	丰水季 Flood season	1.07~22.36	8.30	0.02~0.11	0.10	17.14~48.21	26.99
	平水季 Normal season	0.57~8.86	3.10	0.04~0.25	0.13	8.21~122.82	32.70
T4	枯水季 Dry season	0.93~9.21	2.29	0.01~0.13	0.07	5.00~15.71	11.17
	丰水季 Flood season	0.50~16.43	5.24	0.02~0.23	0.13	5.00~63.93	20.71
铁山港	平水季 Normal season	0.21~3.21	1.70	0.03~0.26	0.11	5.71~88.57	21.79
Tieshangang	小计 Total	0.21~47.86	7.30	0.01~0.71	0.15	4.29~124.29	29.40

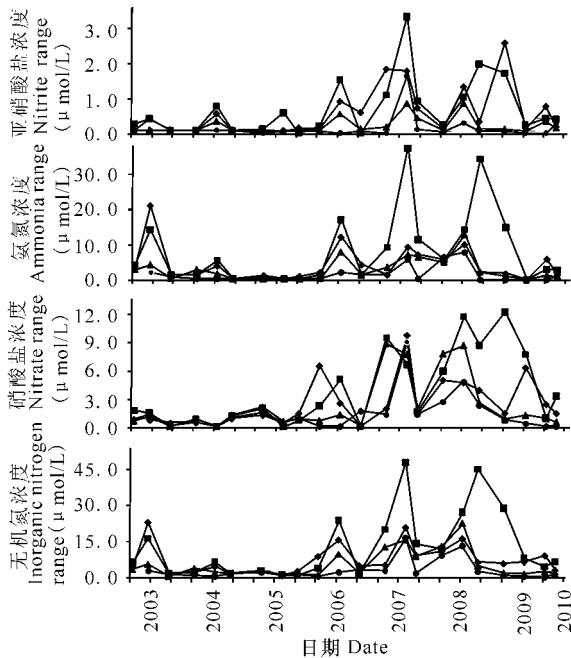


图 2 铁山港湾三氮和无机氮浓度的变化

Fig. 2 Variation of concentrations of nitrite, nitrate, ammonia and inorganic nitrogen in the Tieshangang bay

◆: T1; ■: T2; ▲: T3; ●: T4.

硝酸盐氮和无机氮从 2003 年到 2005 年浓度降低, 2004 年底到 2005 年底浓度较低, 2006 年至 2008 年丰水期硝酸盐氮急剧增加。从 2008 年丰水期之后, T1、T3 和 T4 站硝酸盐氮浓度开始降低至接近 2004 年的水平, T2 站也从 2008 年平水期后开始明显下降, 但是 T2 站 2008 年的枯水期和 2009 年的枯水期仍保持着较高的浓度。

2006 年以前硝酸盐氮和无机氮的季节变化明显而各站点之间的空间差异较小, 而 2006 年以后 T2 站浓度明显增加而明显高于其它站点, 各站点之间的

季节变化也不完全一致。

2.3 磷酸盐和硅酸盐的变化

从图 3(纵坐标刻度从左至右依次为各年的 3 月、7 月、11 月)铁山港湾磷酸盐浓度显现先增加后降低的趋势, 最高浓度出现在 2006~2007 年, 但在各水期的变化没有明显的规律性。2004~2006 年平水期, 磷酸盐浓度较低且变化较小, 主要变化范围在 $0.05\sim0.20\mu\text{mol/L}$ 之间。2007~2008 年期间, 各站点磷酸盐浓度均有所增加, T1 站点在 2006 年 11 月达到 $71\mu\text{mol/L}$ 。2009~2010 年, 各站点磷酸盐均显下降趋势, 除了 T2 站仍保持较高浓度之外, 其它站点浓度下降至接近 2006 年以前的水平。2003~2010 年间, T1 和 T2 站磷酸盐浓度变化较大, 而 T3 和 T4 站的磷酸盐变化较小。

除 T2 站点外, 其他站点的硅酸盐最高浓度出现在 2003 年平水季, 硅酸盐浓度从 2003 年平水季到 2005 年急剧降低之后保持在一个相对稳定的波动状态, 硅酸盐浓度在 2003~2010 年间显现出不同程度的下降趋势(图 3)。T1、T3 和 T4 站的硅酸盐下降范围分别为 $116.75\sim5.00\mu\text{mol/L}$, $122.82\sim7.14\mu\text{mol/L}$, $88.57\sim5.00\mu\text{mol/L}$, 以 T3 站的下降幅度最大, T4 站的下降幅度最小。T2 站点的硅酸盐从 2003 年的 $36.71\mu\text{mol/L}$ 升高至 2004 年最高值 $124.29\mu\text{mol/L}$ 后下降至 2005 年平水季的 $10\mu\text{mol/L}$ 以下, 之后在 2006~2008 年其浓度又开始升高(2008 年丰水期浓度达到 $102.14\mu\text{mol/L}$), 且明显高于其他站点同期的硅酸盐浓度, 最后从 2009 年开始下降。

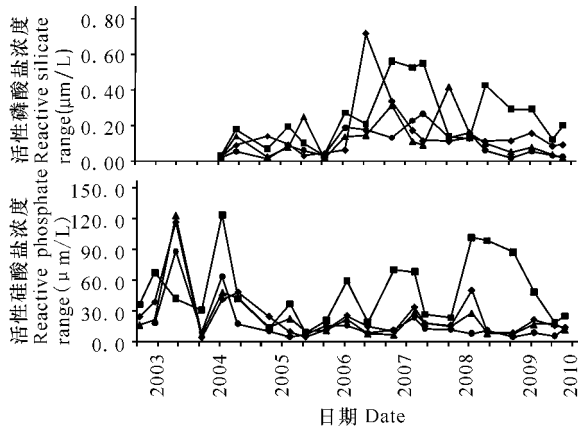


图3 铁山港湾活性磷酸盐和活性硅酸盐的浓度变化

Fig. 3 Variation of reactive phosphate and silicate concentration in the Tieshangang bay

◆: T1; ■: T2; ▲: T3; ●: T4.

2.4 营养盐结构与环境参数之间的相关性分析

从表2可以看出,亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、氨氮、无机氮、磷酸盐和硅酸盐均与盐度和pH值有非常显著的负相关性($P < 0.01$),而与COD有非常显著的正相关性($P < 0.01$)。除磷酸盐与Chl-a没有显著相关性外,其它营养盐与Chl-a也有非常显著的相关性($P < 0.01$)。无机氮及硝酸盐氮和氨氮与DO有负相关性,亚硝酸盐氮、磷酸盐和硅酸盐与DO没有统计学相关性。硅酸盐和硝酸盐氮与温度有正相关性,而其它营养盐与温度没有相关性。

表2 铁山港湾2003~2010年间营养盐浓度与环境参数之间的相关系数[#]

Table 2 Correlation coefficient between nutrition and other environmental factors from 2003 to 2010 in the Tieshangang bay[#]

营养盐 Nutrients	相关因子 Correlation factors					
	温度 Temperature	盐度 Salinity	pH值 pH value	DO	COD	Chl-a
亚硝酸盐氮 Nitrite	0.141	0.588**	-0.485**	-0.123	0.660**	0.462**
硝酸盐氮 Nitrate	0.219*	-0.698**	-0.455**	-0.268*	0.670**	0.341**
氨氮 Ammonia	0.045	-0.545**	-0.553**	-0.273*	0.542**	0.444**
无机氮 Inorganic nitrogen	0.184	-0.729**	-0.547**	-0.295**	0.713**	0.425**
磷酸盐 Silicate	-0.022	-0.380**	-0.463**	-0.207	0.351**	0.150
硅酸盐 Phosphate	0.290**	-0.446**	-0.472**	-0.196	0.294**	0.359**

[#]: $n = 87$; *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

3 讨论

3.1 铁山港湾营养盐空间分布的变化

营养要素的含量分布特征都具有明显的时间性和地区性^[2]。从各站点的无机氮、磷酸盐、硅酸盐浓度变化(图2和图3)可以看出,2003~2010年间铁山港湾各站点之间的营养盐浓度不仅浓度发生了较大

变化,空间分布也发生了变化。在2003年7月,无机氮浓度 $T1 > T2 > T3 > T4$,呈现了一个典型的从湾内到湾外逐渐递减的趋势,在2006年3月也出现类似同样分布趋势。在2004~2005年间,无机氮浓度差异较小,在2006年以后T2站无机氮浓度明显增加而改变了之前的空间分布趋势,显现出 $T2 > T1 > T3 > T4$,从平均浓度上也能看出这样的特征(表1),而最后在2009年11月份随着无机氮浓度的降低,又重现 $T1 > T2 > T3 > T4$ 的空间特征。由此可以看出营养盐浓度的变化,尤其是T2站浓度的增加导致海湾无机氮分布格局的变化。

相对于无机氮,铁山港湾活性磷酸盐和硅酸盐的空间分布趋势更明显。丰水期均表现为 $T2 > T1 > T3 > T4$,即河口和湾内浓度高湾外浓度低的空间分布特征,而在枯水期和平水期特征不完全统一。但从2006年3月以后,硅酸盐浓度无论是在丰水期还是其它水期,其空间分布的特征明显,即 $T2 > T1 > T3 > T4$ 。磷酸盐在2008年7月以后也出现了类似的现象。这也再次表明了T2站营养盐的变化是导致2003~2010年间铁山港营养盐浓度空间分布格局的主要原因,而不同营养盐空间分布格局的变化程度不尽相同。

营养盐的分布特征是海区生物活动和水文条件的综合影响^[2],输入与消耗被普遍认为是营养盐分布和变化的主要因素^[9,10]。河口和近岸受多方面因素影响,一般来说,河口和近岸的营养盐主要受浮游植物的活动和陆源径流以及经济生物新陈代谢等共同影响^[11],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。之前铁山港湾的研究也表明陆源径流、有机体再生补充和浮游植物消耗影响营养盐的分布和变化^[3,7]。本次研究结果显示,营养盐与盐度、pH值显著负相关而与COD显著正相关,除磷酸盐外无机氮与硅酸盐也与Chl-a有显著正相关,表明了径流输入和陆源污染对近年来铁山港湾营养盐有重要影响。因而无机氮、活性磷酸盐和活性硅酸盐浓度在近年来的空间分布趋势主要是受位于白沙河口的T2站以及位于湾内铁山河河口的T1站营养盐浓度变化所导致。

3.2 铁山港湾营养盐浓度的季节变化

铁山港湾环境参数无论从时间还是季节上都没有一致的规律性^[3]。本研究结果表明2003~2010年铁山港湾营养盐的季节变化没有显现出统一的特征。这种不一致性可能是由于该海湾陆源供应偏少和营养盐的再生途径及生物分布不均匀^[3]。近岸营养盐变化梯度较大,因而也容易受潮汐的影响,不同调查

时间及潮汐期可能也是导致这种结果的原因之一。但从变化中可以看出不同年份内的季节变化明显,而不同年份之间的季节发生不同程度的变化。因而由单个年份的不同月份或不同年份少数月份之间的变化所列出的季节变化不完全准确,往往也会导致以偏概全的结果。长期连续变化能够列出营养要素在不同时期的变化^[11],更能客观揭示营养盐变化特征的重要性^[12~14]。

从铁山港湾各站点在各水期的平均浓度变化也可以看出,无机氮表现出丰水期浓度明显高于枯水期和平水期,硅酸盐多数站点丰水期和平水期的浓度明显高于枯水期,而磷酸盐浓度在各水期中的差异不显著(表 1)。从图 2 和图 3 长期变化中可以看出,丰水期的营养盐最高浓度现象比较明显,出现的概率最高,尤其以无机氮表现较为显著,硅酸盐次之,磷酸盐最不显著。这表明通过长期多次观测统计结果,其显现出的特征更贴近于海区的真实情况,而从长期变化中则可以看出其不同的变化^[11~13]。

无机氮、硅酸盐和磷酸盐的不同季节变化主要是由于铁山港湾陆源供应和再生途径及生物变化导致^[3]。虽然磷酸盐也与盐度和 pH 值负相关(表 2),但其相关系数是 3 个营养要素中最低,表明陆源输入对磷酸盐的影响明显低于无机氮和硅酸盐,输入有限,而由于海区磷酸盐偏低导致浮游植物的消耗对其也产生影响,此外磷酸盐与 COD 显著正相关性说明有机物的氧化分解也给磷酸盐提供良好的再生途径^[1,3],因而季节变化不显著。而输入水体对海区氮和硅的补充较磷酸盐充足,丰水期由于径流输入远大于浮游植物消耗而使得该海区无机氮和硅酸盐较高浓度,平水期由于仍是高温,浮游植物生长消耗导致了无机氮的明显降低。硅酸盐由于海区及附近大面积养殖贝类等滤食生物本生代谢释放^[7]而平水期仍保持在与丰水期接近的水平。

3.3 铁山港湾营养盐浓度长期变化趋势与钦州湾的比较

铁山港湾和钦州湾是广西的两个主要港湾,它们都是有河流输入的半封闭海湾,具有一定的相似性。我们以同期的钦州湾文献数据^[15,16],比较铁山港湾和钦州湾营养盐的长期变化趋势的异同。2003~2010 年间铁山港湾和钦州港湾营养盐变化有较大的不同。铁山港湾平均无机氮浓度明显低于钦州湾,从 2006 年至 2008 年,铁山港湾无机氮显现出明显高于前几年的特征,而此后又开始回降到较低浓度。而钦州湾无机氮浓度在 2003~2010 年间显示出略微逐渐增加的趋势^[15,16]。两个海湾磷酸盐在 2003~2010

年间的变化趋势与无机氮相似。但与铁山港湾相比,钦州湾磷酸盐的季节变化明显,枯水期浓度明显高于铁山港而丰水期两个海湾很接近。

两个海湾无机氮和磷酸盐在 2006 年都有所增加,这有可能是北部湾经济开发区成立后(2006 年),港湾周围地区污水量和污染源种类的增加,导致输入水体中的污染物复杂化及综合化,对营养盐的输入均产生影响。钦州湾有钦江和茅岭江的输入,较大而稳定的径流输入是钦州湾营养盐浓度高于铁山港湾的主要原因,而较高的浮游植物生物量则很可能是导致磷酸盐较大的季节变化的主要原因^[15,17]。而在 2008 年铁山港湾营养盐浓度回落很可能是经济用水较大增加或降雨减少导致径流输入减少,也可能是随着节能减排的推进,污染物输入减少而使营养盐回落。然而钦州湾营养盐能否继续保持在较低浓度,以及研究铁山港湾和钦州湾营养盐变化趋势不同的原因和生态影响,亟待更多更长时间的连续监测与进一步分析。

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(03):21-26.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 黄道建,黄小平,黄正光. 海南新村湾海菖蒲 TN 和 TP 含量时空变化及其对营养负荷的响应[J]. 海洋环境科学,2010,29(1):40-43.
- [6] 王萍,桂福坤,吴常文. 营养盐因子对海膜 N、P 吸收的影响[J]. 海洋环境科学,2010,29(3):356-359.
- [7] 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(04):23-27.
- [8] 中国国家质量监督检验检疫总局和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]. 北京:中国标准出版社,2007.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.

(下转第 391 页 Continue on page 391)

酵生产线实现高浓度酒精发酵。采用现普遍使用的双流加酸性连续发酵工艺,发酵 49.5h 醪液酒精的班产平均浓度最高达到 14.1% (V/V),日产平均浓度最高达到 13.8% (V/V)。平均发酵效率达到理论值的 91.33% (按甘蔗糖蜜总糖含量计算)和 97.72% (按糖蜜可发酵糖含量计算)。每生产 1t 酒精排放的发酵废液平均为 8.17t。(2)对生产过程中各指标进行统计分析的结果表明,1 号罐的酵母菌数、酒精含量、可发酵糖分含量以及 2 号罐的可发酵残糖含量与 9 号罐成熟醪的酒精浓度具有显著的相关关系。生产上应对这些指标进行控制,以实现甘蔗糖蜜的高浓度酒精发酵。

参考文献:

[1] 熊子书. 甘蔗糖蜜酒精酵母菌的筛选与应用[J]. 酿酒科技, 1996, 73(1): 11-13.
 [2] 熊子书. 中国酿酒酵母菌的研究——不同酒类酵母筛选与应用纪实(上)[J]. 酿酒科技, 2002, 112(4): 23-27.
 [3] 陆浩焱, 朱涤荃, 谢文化. 高浓度糖蜜发酵酒精废液浓缩焚烧技术[J]. 甘蔗糖业, 2007, 4: 47-51.
 [4] 周桂, 邓光辉, 何子平. 糖蜜酒精废液综合利用进展[J]. 广西民族学院学报: 自然科学版, 2000, 6(2): 111-114.

[5] 侯保朝, 杜风光, 郭永豪, 等. 高浓度酒精发酵[J]. 酿酒科技, 2005, 130(4): 93-96.
 [6] Mc Caig R, Mc Kee J, Pifisterer E A et al. Very high gravity brewing-laboratory and pilot plant trials[J], J Am Soc Brew Chem, 1992, 50: 18-26.
 [7] Casey G P, Magnus C A, Ingledew W M. High gravity brewing: nutrient enhanced production of high concentration of ethanol by brewing yeast[J]. Biotechnol Lett, 1983, 5: 429-434.
 [8] 陆琦, 张穗生, 吴仁智, 等. 三株甘蔗糖蜜酒精发酵高产酵母菌株的筛选[J]. 广西科学, 2010, 17(4): 368-372, 376.
 [9] 张穗生, 陆琦, 陈东, 等. 甘蔗糖蜜酒精高产酵母的发酵特性研究[J]. 广西科学, 2010, 17(4): 363-367.
 [10] 蚁细苗, 郭剑雄, 梁达, 等. QB/T 2684—2005 甘蔗糖蜜[S]//中华人民共和国国家发展和改革委员会. 中华人民共和国轻工行业标准, 2005.
 [11] 国家技术监督局. GB/T 394. 2—94 中华人民共和国国家标准, 酒精通用试验方法[S]. 1994.
 [12] 尚红岩. 糖蜜发酵酒精生产中残糖的控制[J]. 甘蔗糖业, 2007, 2: 45-47.

(责任编辑: 陈小玲)

(上接第 384 页 Continue from page 384)

[12] 蒋红, 崔毅, 陈碧鹃, 等. 渤海近 20a 来营养盐变化趋势研究[J]. 海洋水产研究, 2005, 26(6): 61-67.
 [13] 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.
 [14] 石海明, 尹翠玲, 张秋丰, 等. 近年来渤海湾赤潮监控区营养盐变化及其结构特征分析[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(2): 246-249.
 [15] 蓝文陆, 彭小燕. 茅尾海富营养化程度及其对浮游植物生物量的影响[J]. 广西科学院学报, 2011, 27(2): 109-

112, 116.
 [16] 蓝文陆. 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响[J]. 生态学报, 2011, 34(20): 5970-5976.
 [17] 蓝文陆, 王晓辉, 黎明民. 应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构[J]. 生态学报, 2011, 31(13): 3360-3368.

(责任编辑: 尹 闯)