

南海神狐海域亚硝酸盐垂直分布特征及影响因素

刘纪勇, 刘梓锐, 杨天邦, 何 赵

(国土资源部海底矿产资源重点实验室, 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广州 510760)

摘 要:对南海神狐海域亚硝酸盐垂直分布进行了调查研究,探讨了亚硝酸盐分布规律的影响因素,结果表明,亚硝酸盐含量在水深 75~100 m 处出现最大值,含量范围为 $0.136 \sim 0.260 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,其他水层含量均 $< 0.005 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。与之相关的铵盐和硝酸盐却没有相似的分布规律,铵盐含量在整个水层中没有明显的分布规律,硝酸盐的含量随水深增加而增大。鉴于此,又对和其相关的物理、化学参数做了分析,发现亚硝酸盐独特的分布规律受铵盐浓度、温度、酸度、溶解氧含量、有机物含量等多种因素影响。

关键词:亚硝酸盐;垂直分布;神狐海域;硝化作用

中图分类号:P59;P736

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2017.12002

可溶性无机氮(DIN)是海水中的重要营养物质,是海洋浮游植物的基本营养物质之一。可溶性无机氮主要包括铵盐($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、亚硝酸盐($\text{NO}_2^- - \text{N}$)、硝酸盐($\text{NO}_3^- - \text{N}$)^[1]。海水中亚硝酸盐是铵盐氧化成硝酸盐和硝酸盐还原为铵盐的中间形态,反应受温度、pH、氧化还原环境、硝酸盐及铵盐含量等多种因素的影响。铵盐、亚硝酸盐、硝酸盐相互之间转化主要通过硝化反应和反硝化反应进行,其过程可用如下反应式表示^[2]:

硝化作用:



反硝化作用:



亚硝酸盐作为硝化和反硝化的中间产物,在一定的海洋环境条件下,其含量与铵盐和硝酸盐及硝化细菌和反硝化细菌密切相关。铵盐的主要来源一方面是大陆径流及城市污水^[3],另一方面是浮游生物直接排泄铵盐以及部分易分解成铵盐的有机物,而硝酸盐主要来源于陆地排放和生物活化反应提供。在远离大陆的海域,可溶性无机氮主要由后者提供。

低浓度的硝酸盐被认为是海洋初级生产力的限制因子,它的垂直迁移是氮循环过程的一部分^[4],而亚硝酸盐处于铵盐和硝酸盐氧化还原体系的中间位置,可以指示氮循环氧化和还原路径的状态^[5]。同时海水中的亚硝酸盐也是海洋环境监测工作中最重要的监测参数之一,可用于评价海域的环境状况。

笔者对神狐海域海水中亚硝酸盐浓度空间分布及其影响其浓度的因素(如铵盐浓度、温度、酸度、溶解氧浓度等)进行了分析,其空间分布可以作为反映该海域生物活性分布及变化的一个良好指示,也可用于评价海域的环境状况。

收稿日期:2017-04-13

基金项目:国土资源部海底矿产资源重点实验室开放基金(KLMMR-2015-A-04)

作者简介:刘纪勇(1986—),男,硕士,工程师,主要从事海洋地质方面的工作。E-mail:644108763@qq.com

1 采样区域概况

采样区的地理位置位于南海北部陆坡中段的神狐暗沙东南海域附近,即西沙海槽与东沙群岛之间海域;构造上位于珠江口盆地珠二坳陷的白

云凹陷和南部隆起、一统隆起和双峰北盆地,其西部和南部分别与西沙海槽盆地和双峰南盆地相接(图 1)。选取了采样区内 5 个站位对亚硝酸盐的垂直分布特征及影响因素进了相关分析。旨在研究亚硝酸盐,同时也给出了温度(t)、pH、溶解氧(DO)、铵盐、亚硝酸盐、硝酸盐数据。

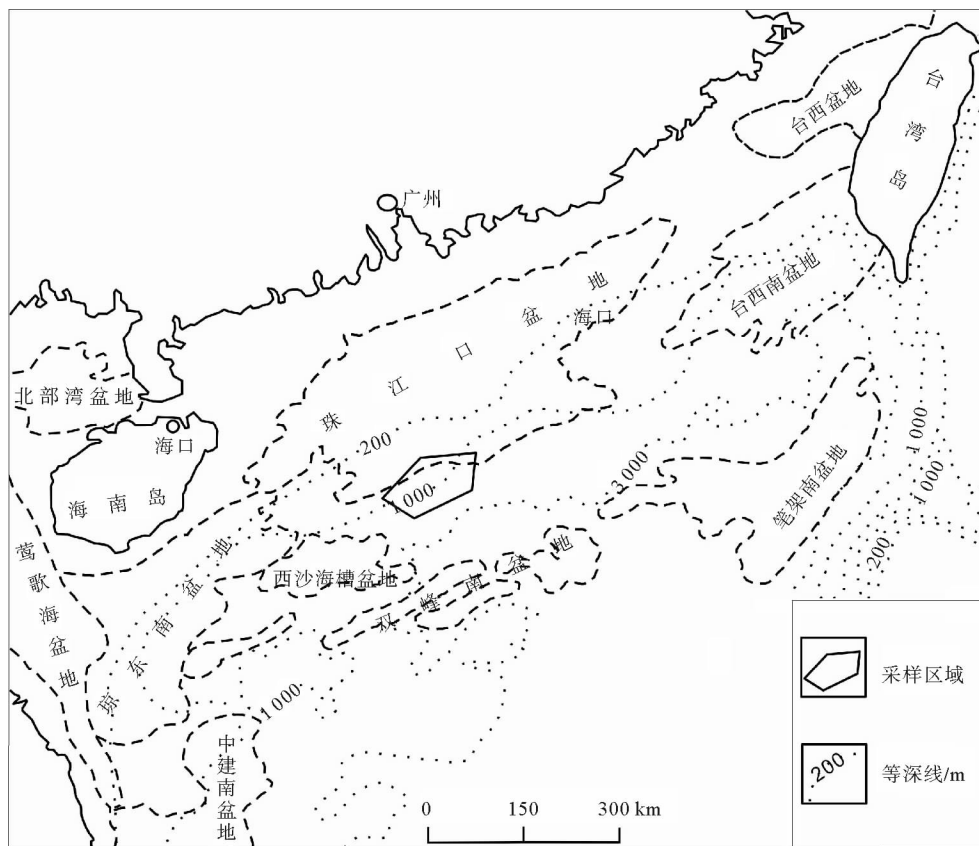


图 1 采样区位置图

Fig. 1 Sampling location map

2 样品采集及分析

样品于 2015 年 9 月采自南海神狐海域。由 SBE-917 Plus CTD 系统在水下 3、30、50、75、100、150、200、300、500 m 采集水样,现场测试了溶解氧、总碱度、pH、营养盐数据,温度由 CTD 系统感温探头原位测得。

3 数据处理

分别对表 1 中亚硝酸盐、铵盐、硝酸盐、溶解

氧、pH 和温度随水深的变化进行作图,如图 1~6 所示。

3.1 亚硝酸盐垂直分布

亚硝酸盐的含量在整个水深层都较低,最大值出现在 CTD4 号站位 100 m 水深处,为 $0.260 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,在表层及深水层含量都很低,且随水深呈一定趋势变化。可以看出,CTD1、CTD2、CTD3 号站位中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量最大值都出现在 100 m 水深处,而 CTD4、CTD5 号站位中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量最大值出现在 75 m 水深处,其他水层的含量都 $< 0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,如图 2 所示。

表 1 南海神狐海域亚硝酸盐及相关物化参数垂直分布

Table 1 Vertical distribution pattern of nitrite and related physicochemical parameters in Shenhu Area, South China Sea

样品号	水深/m	$t/^{\circ}\text{C}$	pH	DO $/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ $/(\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	$\text{NO}_2^{-}\text{-N}$ $/(\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	$\text{NO}_3^{-}\text{-N}$ $/(\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$
SH-CTD1-1	3	29.2	8.32	6.56	0.219	0.021	0.506
SH-CTD1-2	30	28.5	8.27	6.89	0.230	0.021	0.174
SH-CTD1-3	50	24.9	8.24	6.96	0.262	0.012	0.166
SH-CTD1-4	75	22.7	8.22	6.68	0.219	0.199	0.506
SH-CTD1-5	100	20.7	8.18	6.09	0.230	0.227	6.97
SH-CTD1-6	150	17.2	8.10	4.50	0.175	0.017	17.0
SH-CTD1-7	200	14.6	8.06	4.65	0.186	0.003	22.1
SH-CTD1-8	300	12.2	8.03	4.14	0.262	0.002	28.3
SH-CTD1-9	500	8.9	7.96	3.16	0.175	0.002	38.3
SH-CTD2-1	3	29.5	8.28	6.47	0.230	0.006	0.124
SH-CTD2-2	30	29.2	8.27	6.60	0.240	0.012	0.631
SH-CTD2-3	50	27.1	8.25	6.69	0.273	0.017	0.432
SH-CTD2-4	75	23.1	8.22	6.66	0.208	0.009	0.593
SH-CTD2-5	100	20.9	8.15	5.18	0.230	0.136	10.4
SH-CTD2-6	150	17.4	8.08	4.74	0.240	0.033	15.5
SH-CTD2-7	200	14.8	8.04	4.47	0.186	0.012	18.5
SH-CTD2-8	300	12.5	8.01	4.33	0.197	0.019	29.2
SH-CTD2-9	500	9.0	7.93	3.36	0.273	0.013	34.0
SH-CTD3-1	3	29.5	8.21	6.64	0.175	0.005	0.332
SH-CTD3-2	30	29.1	8.21	6.65	0.142	0.007	0.349
SH-CTD3-3	50	26.7	8.21	6.79	0.153	0.013	0.149
SH-CTD3-4	75	23.7	8.21	6.62	0.230	0.000	0.502
SH-CTD3-5	100	20.6	8.15	5.14	0.251	0.152	9.44
SH-CTD3-6	150	17.3	8.07	4.54	0.262	0.006	16.9
SH-CTD3-7	200	15.0	8.08	4.43	0.208	0.008	17.3
SH-CTD3-8	300	12.8	8.01	4.23	0.219	0.005	22.1
SH-CTD3-9	500	9.0	7.91	3.26	0.197	0.017	32.4
SH-CTD4-1	3	30.0	8.20	6.42	0.175	0.013	0.373
SH-CTD4-2	30	29.1	8.20	6.47	0.175	0.009	0.282
SH-CTD4-3	50	26.5	8.20	6.63	0.317	0.010	0.357
SH-CTD4-4	75	24.3	8.19	6.68	0.142	0.260	5.29
SH-CTD4-5	100	21.0	8.12	5.89	0.230	0.154	8.13
SH-CTD4-6	150	18.0	8.12	4.47	0.230	0.013	10.1
SH-CTD4-7	200	15.2	8.09	4.13	0.164	0.009	22.6
SH-CTD4-8	300	12.2	8.04	4.34	0.175	0.006	31.0
SH-CTD4-9	500	8.8	7.99	3.45	0.197	0.013	34.9
SH-CTD5-1	3	29.6	8.19	6.35	0.120	0.002	0.423
SH-CTD5-2	30	28.0	8.19	6.53	0.175	0.005	0.266
SH-CTD5-3	50	25.8	8.19	6.71	0.197	0.006	0.622
SH-CTD5-4	75	22.3	8.15	6.71	0.153	0.156	4.29
SH-CTD5-5	100	20.4	8.10	5.32	0.120	0.037	11.3
SH-CTD5-6	150	16.5	8.06	4.64	0.175	0.006	13.3
SH-CTD5-7	200	14.9	8.04	4.47	0.213	0.011	14.1
SH-CTD5-8	300	12.3	7.98	4.45	0.153	0.006	23.7
SH-CTD5-9	500	8.7	7.91	3.32	0.120	0.005	28.0

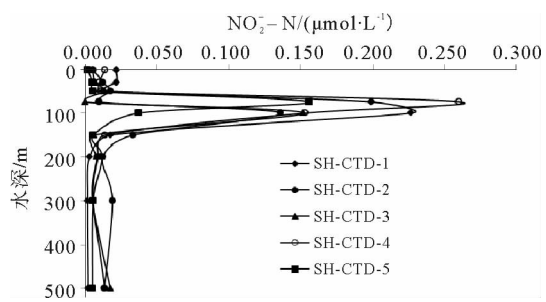


图 2 南海神狐海域亚硝酸盐垂直分布
Fig. 2 Vertical distribution pattern of nitrite in Shenhu Area, South China Sea

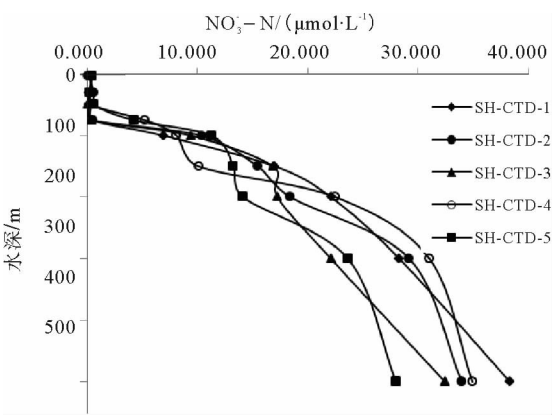


图 4 南海神狐海域硝酸盐垂直分布
Fig. 4 Vertical distribution pattern of nitrate in Shenhu Area, South China Sea

3.2 铵盐垂直分布

就整个水层而言,铵盐含量比亚硝酸盐稍大,且同一层水层铵盐含量比亚硝酸盐大。由图 3 可知,铵盐含量随水深没有明显的规律性,在 0.120~0.317 μmol·L⁻¹之间变化。

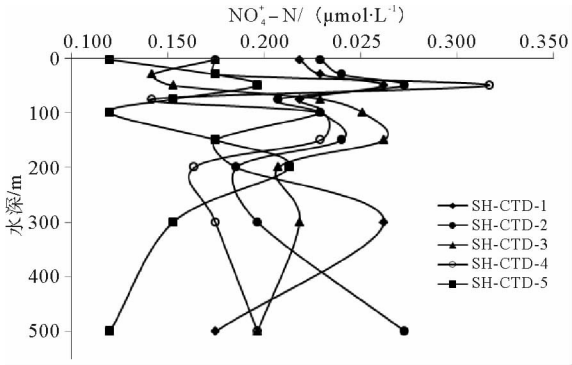


图 3 南海神狐海域铵盐垂直分布
Fig. 3 Vertical distribution pattern of ammonium in Shenhu Area, South China Sea

3.4 溶解氧垂直分布

水深在 0~500 m 范围内,从上至下,溶解氧含量呈先增大再减小趋势,在 0~100 m 之间有一最大值,约 6.70 mg·L⁻¹,可能与该层属真光层,浮游植物光合作用释放氧气所致,之后急剧降低至 4.70 mg·L⁻¹;在 150~300 m 水深处变化较小,之后继续降低至 3.40 mg·L⁻¹,如图 5 所示。

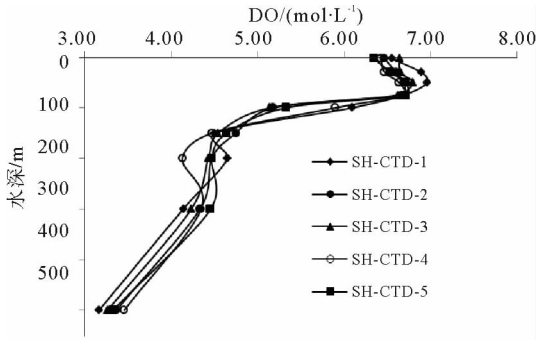


图 5 南海神狐海域溶解氧垂直分布
Fig. 5 Vertical distribution of dissolved oxygen in Shenhu Area, South China Sea

3.3 硝酸盐垂直分布

在上表层硝酸盐含量与铵盐和亚硝酸盐相近,而在水深 75 m 后硝酸盐含量远大于前两者,占总溶解无机态氮(DIN)95%以上,在底层甚至占 DIN 的 99%。NO₃⁻-N 含量随水深增加而变大,CTD1、CTD2、CTD3 号站位硝酸盐含量在水深 0~75 m 范围内变化不大,均<0.6 μmol·L⁻¹,在水深 75 m 后发生跃变,含量急剧变大。CTD4、CTD5 号站位硝酸盐含量跃变发生在水深 50 m 处,如图 4 所示。

3.5 pH 垂直分布

pH 随水深加而变大,从图 6 中可看出 5 个站位 pH 的变化趋势较为一致,pH 变化范围为 7.91~8.32,为弱碱性环境。

3.6 温度垂直分布

由图 7 所示,温度变化曲线高度重合,表层温

度最高,随水深增加而降低,在 200 m 以前温度变化较快,达 7℃ 每百米。之后温度变化放缓至 3℃ 每百米。

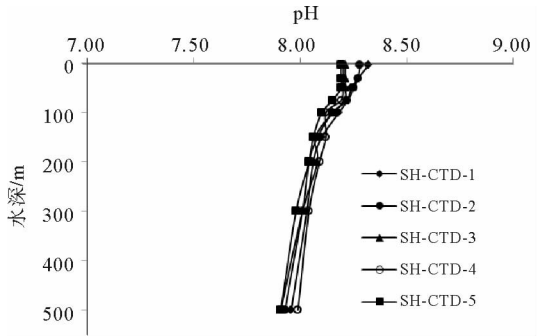


图 6 南海神狐海域 pH 垂直分布

Fig. 6 Vertical distribution of pH in Shenhu Area, South China Sea

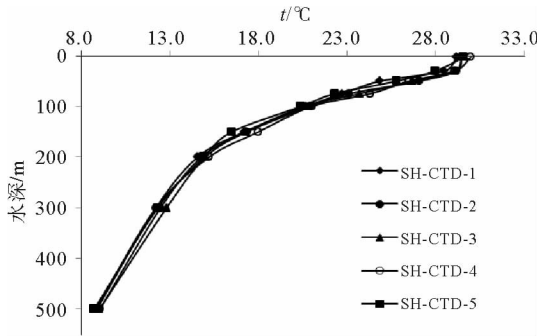


图 7 南海神狐海域温度垂直分布

Fig. 7 Vertical distribution of temperature in Shenhu Area, South China Sea

4 结果与讨论

4.1 亚硝酸盐与铵盐、硝酸盐的关系

在好氧条件下,铵盐被亚硝酸盐菌氧化成亚硝酸盐再被硝酸盐细菌继续氧化成硝酸盐。从图 1~3 中可看出,75 m 以上水层铵盐和硝酸盐浓度相当,但都很低,几乎没有亚硝酸盐,是因为此层为真光层^[6],浮游植物较丰富,浮游植物的光合作用消耗了大量的营养盐。在 75 m 以下水层铵盐的浓度变化不大,硝酸盐的浓度急剧增大,亚硝酸盐浓度在 75~100 m 达到最大值后减小。值

得注意的是,亚硝酸盐浓度达到最大值与硝酸盐浓度急剧增大层位相同。此层处于真光层的临界层,浮游植物减少,营养盐的消耗也相应减少,亚硝酸盐和硝酸盐含量得到积累,而亚硝酸盐在热力学上很不稳定,不可能大量存在于自然水体中^[7],之所以在该层达到最大值,可能是此层位硝化作用较强及亚硝酸盐在此层位有较稳定的环境。硝酸盐是无机氮中(热力学上)的稳定形态^[8],由于硝化作用的持续进行,硝酸盐浓度持续积累,由于温度跃层与秋季的弱垂直对流的影响,其浓度与水深成正比。

4.2 亚硝酸盐溶解氧、pH 及温度的关系

在不考虑陆地排放的情况下,亚硝酸盐主要来源于亚硝酸盐菌氧化铵盐和反硝化细菌还原硝酸盐。反硝化反应宜于在厌氧、好氧交替的情况下进行,溶解氧应在 0.5 mg·L⁻¹ 以下^[9],而硝化反应在溶解氧>1 mg·L⁻¹ 就可以发生,溶解氧浓度越大,反应越易进行。从图 4 中可看出,溶解氧的最低值也>3 mg·L⁻¹,所以在整个海水层中只发生了硝化反应,而反硝化反应一般发生在沉积物层中。研究表明,硝化作用在 pH 在 8.0 附近时反应最快,亚硝酸盐菌在温度为 25~30℃ 时活性最强,低于 15℃ 时活性急剧下降^[10]。从图 5 中可看出,亚硝酸盐含量最大值出现在 pH 为 8.1 附近。图 6 显示,海水温度随水深增加而降低,而亚硝酸盐浓度最大值出现在 20℃ 附近,并非 25~30℃ 区间,可能是因为此水深层浮游植物的光合作用消耗了大量的营养盐所致。

5 结论

- (1)神狐海域亚硝酸盐含量在 75~100 m 时出现最大值,其他层位含量均很低,此层位处于真光层的临界层,浮游植物几乎不能进行光合作用,亚硝酸盐和硝酸盐在此层位得到积累。
- (2)铵盐和亚硝酸盐含量都很低且后者的含量低于前者,亚硝酸盐的最大值出现在温度跃层上方水层中。
- (3)亚硝酸盐是硝化反应的直接产物,而影响硝化反应的因素将直接影响到亚硝酸盐的含量变化,海水中硝化过程受诸多生物地球化学参数的

影响,包括铵盐浓度、温度、盐度、溶解氧、酸度、有机物含量等。

参考文献:

[1] 王资生. 海水营养盐及其对浮游植物的影响[J]. 盐城工业学院学报,2001,14(2):40-43.

[2] 丁 雷,徐 慧,赵明宪. 土壤硝化反应与反硝化作用研究方法[J]. 江西农业学报,2007,19(4):46-48.

[3] 张洁帆. 渤海湾沉积物和水界面间营养盐的交换通量研究[D]. 天津:天津大学,2007:9.

[4] Kieber R J, Seaton T P J. Determination of subnanomolar concentrations of nitrite in natural waters [J]. Marine Chemistry, 1995, 67(18): 3261-3264.

[5] Dore J E, Karl D M. Nitrite distribution and dynamics at

station ALOHA[J]. Deep-Sea Research, 1995, 43(2/3): 385-402.

[6] 唐世林,陈楚群,詹海刚,等. 南海真光层深度的遥感反演[J]. 热带海洋学报,2007,26(1):11-15.

[7] Cooper L H N. The nitrogen cycle in the sea[J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1937, 22(1): 183-204.

[8] 石 强,陈江麟,李崇德. 渤海硝酸盐氮和亚硝酸盐氮季节循环分析[J]. 海洋通报,2001,20(6):33-39.

[9] 肖化云,刘丛强,王仕禄,等. 硝化反应和反硝化反应对湖泊有机质沉积成岩前降解作用的研究[J]. 地球化学, 2003,32(4):375-381.

[10] 姜培霞. 近海富营养化水体综合生物修复技术研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2012:23-24.

VERTICAL DISTRIBUTION PATTERN AND INFLUENCE FACTORS OF NITRITE IN SHENHU AREA, SOUTH CHINA SEA

LIU Jiyong, LIU Zirui, YANG Tianbang, HE Zhao

(MLR Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, CGS, Guangzhou 510760, China)

Abstract: Vertical distribution pattern of nitrite and its influence factors were studied in Shenhu Area, South China Sea. The maximum of nitrite in concentration of 0.136-0.260 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ appears within the depth between 75 to 100 meters, and in the other ranges, the concentration is less than 0.005 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. However, there is no similar distribution patterns for either ammonium salt or nitrate. The distribution pattern of ammonium salt is not obvious, and nitrate increases with water depth. Further study of physical and chemical factors reveals that the distribution of nitrite is influenced by the concentration of ammonium salt, temperature, dissolved oxygen, acidity, organic content and others.

Key words: nitrite; vertical distribution; Shenhu Area; nitrification