

浙江沿海上升流区溶解氧含量与 三种无机氮循环的关系*

雷鹏飞

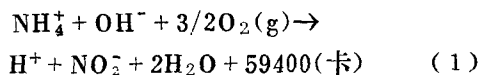
(国家海洋局第二海洋研究所)

本文根据1980年7—8月我所对浙江沿海上升流区综合调查资料,着重讨论水体中的溶解氧含量分布与三种无机氮(NH_4^+ , NO_2^- 和 NO_3^-)循环的关系。

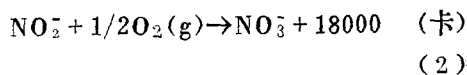
一、溶解氧和无机氮的分布

海水中的溶解氧主要来源于大气。其溶解度主要受水温和盐度的控制。它在海水中的含量变化尚受生物光合作用及呼吸作用,有机体分解及在细菌作用下的氧化还原作用的影响。海流等水文要素的影响,也会造成氧含量在空间上的分布变化。在大洋水域光合层以下中层水中(象北太平洋热带海域有机质含量高,氧化反应速度快,氧含量随深度增加100米,下降达5毫升/升),通常形成氧最小值^[7]。浙江沿海上升流水是来自外海的黑潮分支次表层水。它经沿海下层,在海底地形和信风的影响下,又上升到表层或次表层,以致该上升流水体带有氧含量很低、总无机氮含量很高的下층水的特征。

海水中三种无机氮与溶解氧有一定的内在联系。溶解氧含量表征着氧化还原电位的高低,从而会影响到三氮的循环。Cooper(1937)曾指出, NH_4^+ 氧化成 NO_2^- 是一种放热反应。在由光的、化学的以及生物的作用供给了活化所需的能量之后,其反应式为:



当然,该反应必须在海洋自养细菌(如亚硝化毛杆菌)作用下才能将 NH_4^+ 氧化成 NO_2^- 。同样, NO_2^- 的氧化也有类似情况,方程式为:



相反, NO_2^- 和 NO_3^- 的还原过程是吸热过程,只有当来自邻近的放热反应满足其所需能量时,这种反应才可能进行。

下面扼要阐述浙江沿海调查水域中溶解氧及无机氮在表层和15米水层的分布特征。所测站位见图1。

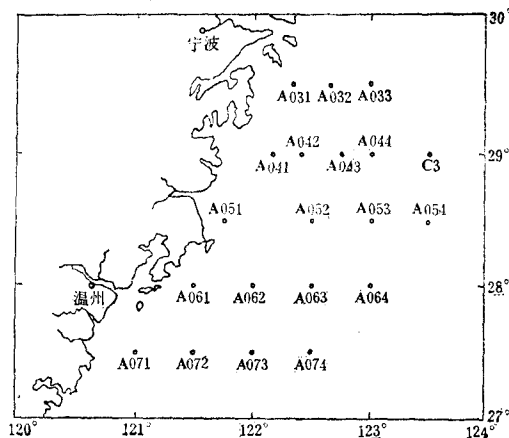


图1 测站分布

* 溶解氧由林建平同志测定; 参加三氮测定的还有徐鲁强和任典勇等同志。

1. 平面分布

溶解氧: 表层海水中的氧含量, 大致以北纬 $28^{\circ}52'$ 为界, 其以南、以北海区, 随着经度的增加分别增加与减低。在整个调查海区, 氧含量最大值 (≥ 5.0 毫升/升) 出现在 29°N 断面上的 A041 站的西北沿岸; 最小值 (≤ 4.0 毫升/升) 出现在 $28^{\circ}28'43''\text{N}$, $122^{\circ}30'\text{E}$ 以西的海区内。15 米水层溶解氧含量, 以 29°N 断面为核心, 随经度增加而增高。最小值 (≤ 2.8 毫升/升) 出现在 A042—A043 站周围海区。

氨氮: 表层氨氮含量在 29°N 断面, 随经度增加减小。最大值 (≥ 6.0 微克原子/升) 出现在 A041 和 A042 站周围沿岸海区。15 米水层, 最大值 (≥ 5.0 微克原子/升) 出现在以 A043 站为中心的周围海区。表层、15 米水层氨氮含量都有从南向北递增的趋向。

硝酸盐: 表层 NO_3^- 含量, 在 A041 站的西北沿岸, 出现最大值 (≥ 9.0 微克原子/升)。较高值区 (≥ 2.5 微克原子/升) 出现在 29°N 断面周围。最小值 (≤ 1.5 微克原子/升) 出现在 28°N 断面调查海区。15 米水层, NO_3^- 含量分布呈随经度增加而减小的趋势。最大值 (≥ 10.0 微克原子/升) 出现在 A031 站周围和沿岸。高值区 (≥ 4.0 微克原子/升) 在 A042 和 A043 站的周围海区。最小值 (2.0 微克原子/升) 出现在 28°N 以南海区。

亚硝酸盐: 表层 NO_2^- 含量, 在 A031 站的沿岸海区出现最大值 (≥ 2.0 微克原子/升)。最小值 (~ 0.1 微克原子/升) 出现在 29°N 断面周围的海区, 并在 29°N 以南, 有随纬度减小而增大的趋势。15 米水层的 NO_2^- 含量, 随经度增加而减小。最大值 (≥ 3.5 微克原子/升) 出现在 A042—A031 站的沿岸海区。

综上所述, 在调查海区的表层, 溶解氧和三种无机氮含量的分布都有沿岸高、外海低, 并以 29°N 断面为核心的分布特征。 29°N 断面周围海区是氧、 NO_3^- 和 NH_4^+ 含量高浓度中心, 然而却是 NO_2^- 含量最低中心。15 米水层的情况比较复杂些, NO_3^- 和 NO_2^- 含量仍有沿岸高、外海低的特征, 然而氧和 NH_4^+ 含量基本上是以

29°N 断面上的 A042—A043 站为中心, 不同的是 A042—A043 站为氧含量最低、 NH_4^+ 含量最高的中心。

2. 垂直分布

根据平面分布, 选取上升流强盛断面 (29°N) 上的 A042 和 A044 站绘制了三氮、氧和水温的垂直分布图 (图 2, 3)。A042 站 (图 2), 氧、 NO_2^- 和 NO_3^- 大致在 15 米形成跃层; 温度虽然随深度的增加而降低, 但也在 20 米左右形成跃层。在温跃层之下, 氧、 NO_2^- 、 NO_3^- 同温度相反, 不同程度地随深度增大。 NH_4^+ 含量一直随深度增大。

A044 站 (图 3), 温度、 NO_2^- 以及 NO_3^- 都随深度有大幅度变化。温度从上到下一直降低。 NO_2^- 和 NO_3^- 约在 20 米层有一极小值, 并形成了跃层。在跃层之下, 急剧增大, 在 50 米以下, 又急转减小。 NH_4^+ 含量随深度增大, 氧随深度减低, 但其变化幅度都较小。

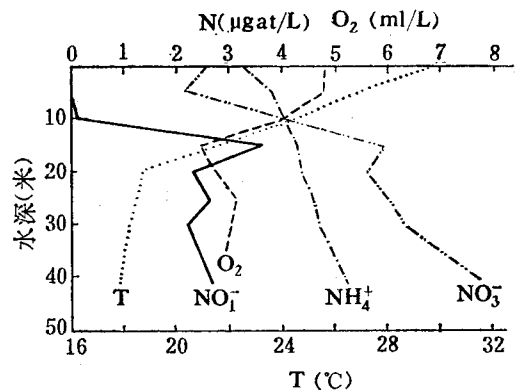


图 2 A042 站氧、三氮和水温垂直分布

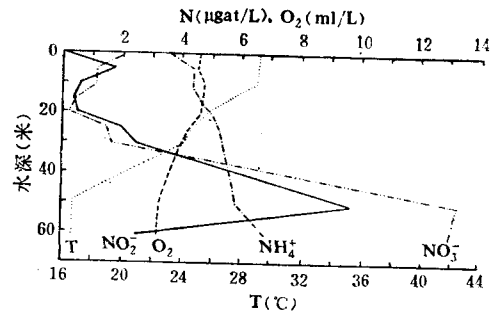


图 3 A044 站氧、三氮和水温垂直分布

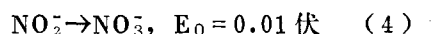
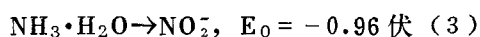
以上两站均是以 29°N 断面为核心的上升流强盛区^{〔2〕}两端的观测站,二者有相似的特性,区间内其他站也与其类似。

二、结果与讨论

由上述可知,在 $28^{\circ}35' - 29^{\circ}20'\text{N}$, 123°E 以西,以 29°N 断面为核心的周围海域,具有低氧、高氮并伴有低温、高盐的特点。它体现了上升流水体化学、水文学特征,当然亦反映了这些要素的相互关系。该上升流水体,自下而上,在沿岸涌升至上层时,就与沿岸水(盐度 $< 31.5\%$)混合,形成混合水(盐度为 $31.5 - 34.0\%$)。在 29°N 断面的西北海区,盐度均小于 34.0% 。尤其是 A041—A031 站周围沿岸,盐度低于 31.5% ,在这种沿岸水中,溶解氧、硝酸盐含量达到最大值。这可能与氧含量高, $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ 转化充分及径流影响有关。而在上升流强盛区,上升流只涌升至 10 米层左右,光照充分的表层海水温度,一般都在 28.5°C 以上,太阳光所供给的能量可使反应式 (1) 和 (2) 向逆方向进行; NO_2^- 的歧化反应,以及每天 10% 左右的分解^{〔6〕}; 生物的吸收,使 NO_3^- 浓度降低, NO_2^- 消耗尽,并释放出 NH_4^+ 和氧气,可能是这些因素的影响,致使上升流强盛区的表层海水中出现氧 (≥ 4.5 毫升/升) 及 NH_4^+ (~ 5.0 微克原子/升) $> \text{NO}_3^-$ (~ 2.5 微克原子/升) $> \text{NO}_2^-$ (~ 0.1 微克原子/升)。

从 15 米水层的平面分布可知, 29°N 是氧含量最低、三氮含量最高的核心断面。其上升流中心区 A042—A043 站周围,氧含量仅为 ≤ 2.8 毫升/升, NH_4^+ 及 NO_3^- 含量大致为 ≥ 4.0 微克原子/升, NO_2^- 含量 ≥ 2.0 微克原子/升。作者初步认为,造成低氧的主要原因是,由于有机质分解大量消耗了氧,而下层水中又缺乏氧补充源。在低氧或缺氧水中,海水的氧化还原电位很低,使得 $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ 的耗氧过程变成 NO_3^- 和 NO_2^- 不断还原的逆过程,甚至把 NO_3^- 和 NO_2^- 消耗尽^{〔5〕},同时放出氧气和氨。在我们所讨论的上升流强盛区内,氧含量很

低,氨含量很高。而在跃层之下,往往 NH_4^+ 含量要比 NO_2^- 和 NO_3^- 含量低。这可能是由于生物尸体分解过程放出大量的氨,会进一步按



进行氧化,使氧和 NH_4^+ 含量同时降低,而 NO_2^- 和 NO_3^- 含量不断增大。Von Brand 等 (1937),从浮游生物分解实验中发现,氨最终生成亚硝酸盐和硝酸盐^{〔3〕}。

由上述可知, A042 站比 A044 站受上升流影响大些,以致氧含量比 A044 站稍低。但是, A044 站受动物的排泄影响¹⁾比 A042 大,受浮游植物的影响²⁾比 A042 站小。所以,在跃层之下,三氮均比 A042 站高。而在跃层之上,除了氨氮亦比 A042 站高之外, NO_2^- 和 NO_3^- 含量均比 A042 站低。

图 4 表明了溶解氧含量与无机氮循环的关系。在上升流影响最强的 A042 站和 A043 站,由于是低氧中心^{〔1〕},所以不断地还原出 NH_4^+ [见 (3) 式],放出的氧和氨的含量有增无减,而 NO_2^- 和 NO_3^- 含量却有减无增。因此,在 A042 和 A043 站,氧与氨有正相关趋势。应该指出,由于 A042 站 10 米以上盐度 $< 34.0\%$,及受生物影响较大,所以只取 15 米以下的层次

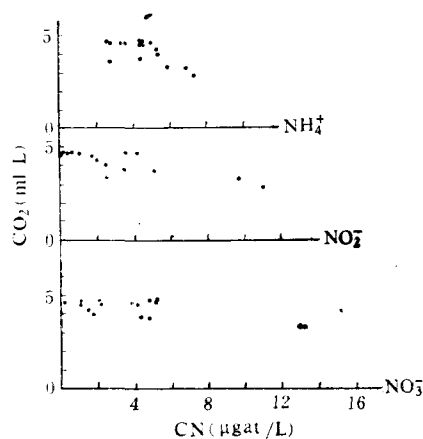


图 4 A042 和 A043 站氧与三氮的关系

1, 2) 国家海洋局第二海洋研究所生物室, 1980。上升流调查报告。

同A043站的整个层次一起作图4。图4中溶解氧与 NO_3^- 、 NO_2^- 呈负相关趋势。

在上升流影响稍弱的A044和A053站, 氧与氮呈负相关趋势, 这可能与海洋生物(主要是动物)的呼吸和排泄作用有关。从35—55米水层, 氮低于 NO_2^- 和 NO_3^- 含量, NO_3^- 和 NO_2^- 的总趋势是急剧增大(图3), 这可能与细菌的氧化作用有关。三氮的垂直分布基本上与氧的垂直分布相反, 于是, 氧与三氮有负相关趋势, 见图5。

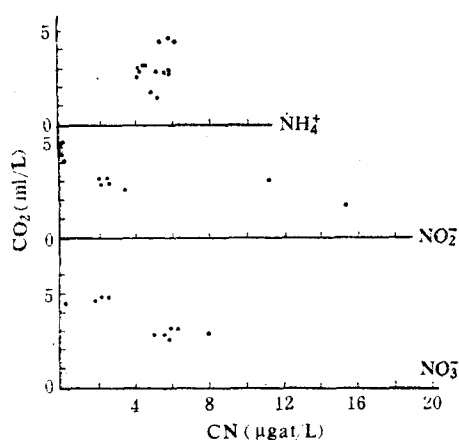


图5 A044和A053站氧和三氮的关系

对三氮循环起重要作用的因素之一, 是细菌的氧化与还原能力。多数海洋细菌适温范围大致为12—25℃^[4], 细菌又有嗜盐特性, 所以, 当深度到达40—50米时, 细菌量逐渐增加, 再深则逐渐减少, 以致海洋硝化细菌, 主要局限在海水的光合作用带以及海底沉积物上层(Carey, 1938)。A044站的垂直分布情况正好与此吻合。图3表明, 在水深30米以下, 水温在12—25℃之内, 盐度>34.0‰, 细菌可

以大量生长, 因而使得 NO_2^- 和 NO_3^- 在30米以下急增。到50米时, 由于细菌在此深度之下逐渐减少, NO_2^- 和 NO_3^- 亦减少。尤其 NO_2^- 在50米层有个急转直下点, 使 NO_2^- 含量到61米底层时减到30米层的起始水平(2.45微克原子/升)。但仍未减到最小值, 原因是61米是离底3米的底层水, 细菌仍能较好地生长, 但与50米层细菌生长最大层相比又为逊色。 NO_3^- 并不象 NO_2^- 那样急转直下, 而是稍有下降, 似乎硝化细菌在底层仍可很好地生长。

由以上的讨论可以说明, 溶解氧含量对三氮之间的循环起着重要作用。无论是它的消耗还是富集, 都会对三氮的比例带来明显的影响(有时是和细菌共同起作用)。而三氮比例的改变又会对生物的选择吸收带来影响^[7]。

主要参考文献

- (1) 林建平, 1983. 浙江近海上升流区溶解氧含量分布特征. 海洋科学1:6—8.
- (2) 潘玉球等, 1982. 浙江沿岸上升流锋区特征及其成因的初步探讨. 海洋湖沼通报3:1—7.
- (3) 薛廷耀, 1962. 海洋细菌学. 科学出版社, 170—179页.
- (4) A. J. 萨里, 1964. 细菌学基本原理(黄梧芳等译). 科学出版社, 418—426页.
- (5) Riley, J. P. and G. Skirrow, 1975. Chemical Oceanography (London), 3: 1—35.
- (6) Oliver C. Zafiriou et al., 1979. Nitrite photolysis in seawater by sunlight. Marine Chemistry 8(1):9—32.
- (7) Horne, R. A., 1969. Marine Chemistry. Wiley Interscience. 中译本(1976), 科学出版社, 124—175页.

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE CONTENT OF DISSOLVED OXYGEN AND THE CYCLE OF THREE INORGANIC NITROGENS IN THE COASTAL UPWELLING OFF ZHEJIANG

Lei Pengfei

(The Second Institute of Oceanography, National Bureau of Oceanography)

Abstract

The dissolved oxygen was found to be in inverse proportion to all three inorganic nitrogens in both the strongest and the less strong upwelling zones. Direct proportion to ammonia was found only in the strongest upwelling zone.