

廉州湾赤潮形成期间 pH值和溶解氧的 时空分布及其与环境因素的关系

The Temporal and Spatial Distribution of pH Value and DO and Their Relation with the Environmental Factors during the Formation of the Algal Bloom in Lianzhou Bay

韦蔓新 何本茂 赖廷和

Wei Manxin He Benmao Lai Tinghe

(广西红树林研究中心 北海市长青东路 92号 536000)

(Guangxi Mangrove Research Center, 92 East Changqinlu, Beihai, Guangxi, 536000, China)

摘要 根据 1995年 3月 15日和 16日对廉州湾首次发生微囊藻赤潮的同步调查资料, 分析廉州湾赤潮形成期间 pH值、溶解氧的分布变化及其与环境因子和营养盐之间的关系。结果表明, pH值具有赤潮前明显低于赤潮时的分布特征, 溶解氧则与此相反。赤潮前以 pH值与氧饱和度 ($O_2\%$) 的正相关较为显著 ($r = 0.863$), 溶解氧 (DO) 与化学耗氧量 (COD) 和叶绿素 a (Chl-a) 的正相关较为显著 ($r = 0.834, 0.830$); 赤潮时以 pH值与盐度 (S) 和悬浮物 (SS) 的正相关较为显著 ($r = 0.843, 0.803$), DO与 $O_2\%$ 的正相关较为显著 ($r = 0.995$)。赤潮前, pH值与三态无机氮之间均具有明显的负相关趋势, 其中以与 NH_4^+ 的相关性较为显著 ($r = -0.842$), DO则具明显的正相关趋势, 但相关性均不显著; 赤潮时, pH值、DO与氮、磷营养盐之间均具有明显的负相关趋势, pH值与 NO_3^- 和 NO_2^- 的相关性最为显著 ($r = -0.972, -0.967$), DO与 PO_4^{3-} 和 NH_4^+ 的相关性较为显著 ($r = -0.853, -0.929$)。

关键词 赤潮 pH值 溶解氧 分布 环境因素

中图法分类号 P734.4

Abstract This paper dealt with the synchronous investigation on the bloom of *Microcystis* Kuetz firstly happened in Lianzhou bay on 15th and 16th of March, 1995. The temporal and spatial distribution of pH and DO and their relation with the environmental factors and the nutrient salt during the formation of algal bloom were studied. The results showed that the pH value monitored before the occurring of algal bloom was much lower than that in the midst of algal bloom, and DO contents appeared an adverse rule. As to the correlation with the environmental factors, before the occurring of algal bloom, there was positive correlation between pH value and $O_2\%$, DO and COD, and DO and Chl-a, the correlation coefficients r were 0.863, 0.834 and 0.830 respectively. And in the midst of algal bloom, there was positive correlation between pH and S, pH value and SS, DO and $O_2\%$, the correlation coefficients r were 0.843, 0.803 and 0.995 respectively. As to the correlation with nutrient salt, before the occurring of algal bloom, there was obvious negative correlation trend between pH value and the three states of inorganic nitrogen, particularly between pH value and NH_4^+ , and correlation coefficients r was -0.842. And an obvious positive correlation trend between DO and the three states of inorganic nitrogen could be observed, but it did not reach the level of significance. In the midst of algal bloom, there was negative correlation trend between pH, DO and nitrogen phosphorus nutrient salt. And the correlation coefficients r between pH value and NO_3^- , pH and NO_2^- , DO and PO_4^{3-} , DO and NH_4^+ were -0.972, -0.967, -0.853 and -0.929 respectively.

Key words algal bloom, pH value, DO, distribution, environmental factor

近年来,随着沿海近岸水域水体富营养化的不断加重,赤潮的生日趋频繁,赤潮已成为海洋环境中

最严重的问题之一。国内外学者对赤潮进行了大量的探讨和研究^[1-4]。但对于赤潮发生前夕及发生初期水环境的变化状况报道的不多。本文以海洋中所发生的各种生化 and 化学过程中的主要参加者——pH值和溶解氧为重点,着重分析廉州湾赤潮形成期间pH值、溶解氧的时空分布及其与环境因素的关系,旨在了解该湾赤潮形成及发生过程的环境变化状况,为赤潮的研究提供参考依据。

1 调查与方法

1995年3月15日低潮时(亦即赤潮前)和16日上午高潮时(亦即赤潮时)对廉州湾9个测站(见图1)进行表层采样分析,pH值和溶解氧分别采用pH值计法和碘量法进行分析测定,其余要素均按《海洋调查规范》中规定的方法同步进行。

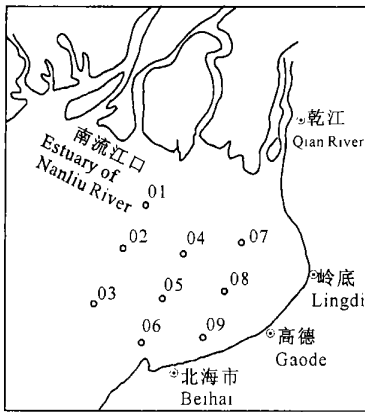


图1 调查站位
Fig. 1 Sample stations

2 结果与分析

2.1 赤潮形成期间pH值和溶解氧的时空分布

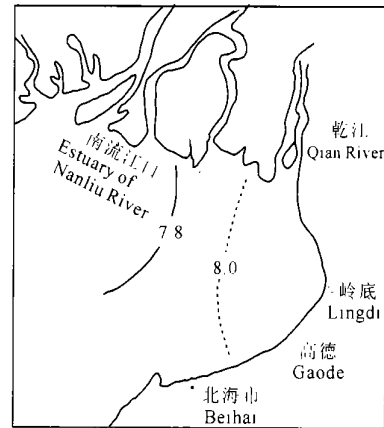
2.1.1 pH值的时空分布

廉州湾赤潮形成期间pH值的变化范围为7.73~8.06,平均值为7.97。赤潮前pH值较低,平均为7.91。其平面分布具有北海近岸海域9号站量值较高,向西北呈明显的梯度递减趋势,南流江口海域pH值最低(见图2a)。从表征上体现了南流江沿岸水对pH值的影响作用;赤潮期间,受高潮时潮汐的预托作用和赤潮生物光合作用的综合影响,pH值明显升高,平均为8.02。平面分布呈现出内湾顶部7号、8号站pH值明显偏低,其余测站明显偏高的趋势(见图2a)。潮汐对pH值的影响作用显得较为突出,从而掩盖了浮游植物光合作用的影响。

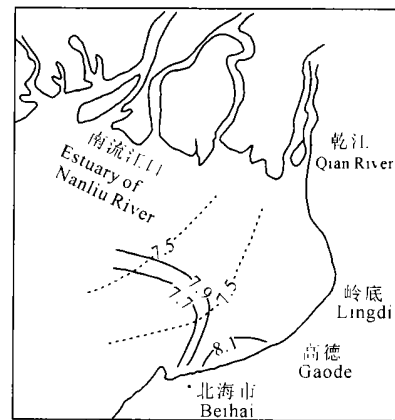
2.1.2 溶解氧的时空分布

廉州湾赤潮形成期间溶解氧的含量为6.93~8.13 mg/L,平均值为7.66 mg/L,其中赤潮前含量

较高(7.89 mg/L),最高值出现于9号站,为8.13 mg/L(叶绿素a亦最高,为1.73 mg/m³),低值区则出现于5号、6号站,为7.64 mg/L和7.62 mg/L(叶绿素a亦最低,分别为0.82 mg/m³和0.43 mg/m³)。但其分布仍表现为近岸及江口海域氧含量明显偏高的趋势。显然,赤潮前溶解氧的含量主要受控于浮游植物的光合作用,沿岸水的物理混合作用仅占次要地位。赤潮期间,溶解氧含量随着现浮游植物量的下降和赤潮生物的消亡而下降,平均值为7.43 mg/L。高值区出现于湾中部的3号、4号、5号站,范围为7.62~7.76 mg/L,见图2b(此区氧饱和度亦高达104.38~106.45%)。低值区则出现于湾顶部的6号、7号、8号、9号站,为6.93~7.37 mg/L(此区氧饱和度除9号站外均呈不饱和状态,为94.93%~99.59%)。这是生物同化作用影响的结果。



(a)



(b)

图2 赤潮形成期间pH、溶解氧的空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of pH value and DO during the formation of the algal bloom

(a) pH值 pH value; (b) 溶解氧 DO

—: 赤潮前; —: 赤潮时; - - -: Before the algal bloom; —: In the mist of algal bloom.

2.2 pH值、溶解氧与环境因素的关系

一般说来,海水中的pH值和溶解氧作为表征水

体主要特征的重要参数,在浮游植物繁盛期应具有相似的变化规律,但廉州湾赤潮形成期间 pH值、溶解氧与环境因素的关系却随着赤潮形成及发生过程的不同而存在明显差异。

赤潮前,影响 pH值和溶解氧变化的因素截然不同,在与盐度、悬浮物(SS)、化学耗氧量(COD)、叶绿素 a(Chl-a)和氧饱和度(O₂%)的相关分析中,pH值与 O₂% 之间的正相关关系较为显著 ($r = 0.863, n = 9$),与盐度的正相关关系次之 ($r = 0.679, n = 9$),与其余因子的相关性较差;而溶解氧(DO)则以与 COD ($r = 0.834, n = 9$)和 Chl-a ($r = 0.830, n = 9$)的正相关关系较为显著,与其余因子的相关性较差。表明赤潮前影响 pH值的主要因素是浮游植物的光合作用,沿岸水的物理混合作用只占次要地位;而影响 DO的主要因素则以生化作用(生物的光合作用和有机物的分解作用)为主。一般说来,氧含量是随着浮游植物光合作用的增加而升高,随着有机物的分解耗氧而下降,但赤潮前廉州湾氧含量在与 Chl-a呈显著正相关的同时,与 COD亦具有显著的正相关关系,一方面恰好说明本湾赤潮前现存浮游植物量异常丰富,强烈的光合作用产生大量的氧,从而掩盖了有机物分解所消耗的氧量,另一方面则说明消亡后的大量浮游植物以有机物的形式存在于水体中,因来不及分解而呈现出氧的补充远大于消耗,从而出现 DO与 COD呈显著正相关的反常现象。

赤潮期间,经历了赤潮形成及发生过程一系列物理、生物和化学变化后的 pH值和溶解氧已逐渐恢复共有的分布特征,虽然它们之间的正相关关系尚未达到显著水平 ($r = 0.641, n = 9$),但已接近置信水平的 95% ($r_{0.05} = 0.666$)。由于正值高潮时,潮汐作用对 pH值的影响较赤潮前(低潮时)沿岸水的影响更为显著,外海流系与沿岸流系强烈的混合作用,使得 pH值与盐度呈显著正相关 ($r = 0.843, n = 9$)的同时,与悬浮物亦具有显著的正相关关系 ($r = 0.803, n = 9$);但与表征浮游植物光合作用的 O₂% 之间的正相关性 ($r = 0.708, n = 9$)较赤潮前有所下降,而对于溶解氧则呈大幅度上升趋势,相关程度已达到高度显著正相关 ($r = 0.995, n = 9$),虽然与盐度 ($r = 0.313, n = 9$)和 SS ($r = 0.631, n = 9$)的正相关性不及 pH值,但亦具有明显的正相关趋势。表明赤潮期间影响 pH值的主要因素是以外海流系与沿岸流系的物理混合作用为主,浮游植物的光合作用为辅;而对于溶解氧而言,浮游植物的光合作用起主导控制作用,生物效应对溶解氧的影响掩盖了物理效应。

2.3 pH值、溶解氧与营养盐的关系

由表 1的相关分析结果可知,廉州湾赤潮形成期间 pH值、溶解氧与营养盐之间的关系,随着赤潮的形成和发生存在显著差异。

表 1 赤潮形成期间 pH值、溶解氧与营养盐的关系

Table 1 The relation between pH value, DO and nutrient salt during the formation of the algal bloom

相关因子 Correlation factor	赤潮前 Before the algal bloom	赤潮时 In the mist of algal bloom
pH-PO ₄	0.339	-0.691
pH-NO ₃	-0.727	-0.972
pH-NO ₂	-0.623	-0.967
pH-NH ₄	-0.842	-0.774
DO-PO ₄	0.227	-0.853
DO-NO ₃	0.405	-0.540
DO-NO ₂	0.507	-0.602
DO-NH ₄	0.365	-0.929

$$n = 9 \quad r_{0.05} = 0.666 \quad r_{0.01} = 0.798$$

赤潮前, pH值与三态无机氮之间均具有明显的负相关趋势,其中以与 NH₄ 的相关性较为显著,与 NO₃ 的相关性次之,与 NO₂ 的相关性较差。一方面表明沿岸水对 pH值的影响作用,另一方面则反映赤潮前浮游植物大量繁殖,使 N的消耗量急剧上升,浮游植物与 NH₄ 构成了直接循环,已有研究证明^[5],当浮游植物茂盛时浮游植物对 N的吸收是以 NH₄ 为先,其次为 NO₃ 和 NO₂,这与廉州湾赤潮前 pH值与三态无机氮的相关变化极为一致,表明浮游植物的大量繁殖生长,在消耗大量 N的同时,强烈的光合作用又使海水中的 CO₂ 含量下降, pH值上升,相反,浮游植物消亡,有机体分解使 N获得再生的同时,海水中 CO₂ 含量上升, pH值下降。但 pH值与 PO₄ 的相关性则不大明显,且恰与 N相反,表现为正相关趋势。在浮游植物大量繁殖的情况下,磷含量与 pH值仍保持正相关趋势,恰好说明赤潮前磷的补充远大于消耗,这亦正是这次发生赤潮的原因所在。与 pH值相比,溶解氧与四项营养盐的相关性均不显著,但均具有明显的正相关趋势,表明赤潮前溶解氧含量具有随营养盐含量增加而升高的明显趋势,也就意味着氧含量是以产氧的浮游植物光合作用影响为主,这与 DO与 Chl-a和 COD呈显著正相关的分析结果是一致的。赤潮期间,随着浮游植物的大量摄取,营养盐含量呈明显下降趋势, pH值、溶解氧与四项营养盐之间均具有明显的负相关趋势,所不同的是 pH值与 NO₃ 和 NO₂ 的相关性最为显著,与 PO₄ 和 NH₄ 的相关性次之;而 DO则以与 PO₄ 和 NH₄ 的相关性较为显著,与 NO₃ 和 NO₂ 的相关性略差。说明在赤潮

的形成和发展过程中,无论是营养盐含量还是现存浮游植物量均随着赤潮过程的发展而呈现出明显下降趋势,但随着浮游植物的消亡,作为有机体分解第一产物的 NH_4^+ 首先获得再生, PO_4^{3-} 的再生周期相似于氨化过程^[5],至于 NO_3^- 和 NO_2^- ,由于这次赤潮浮游植物的繁殖周期较短, NH_4^+ 来不及转化为 NO_3^- 和 NO_2^- ,从而出现 PO_4^{3-} 和 NH_4^+ 的负相关性不及 NO_3^- 和 NO_2^- 那样显著,但仍呈良好的负相关性。DO与三态无机氮的相关性间接地反映了 NH_4^+ 的再生速度是最快的,其次是 NO_2^- , NO_3^- 为最低,这与无机氮的转化规律是一致的。

3 结束语

廉州湾海域具有赤潮前 pH值较低,赤潮时 pH值较高的特征。pH值分布趋势是赤潮前南流江口海域较低,向北海沿岸递增,赤潮时则以湾顶部海域较低,其余海域较高。溶解氧的分布与 pH值恰好相反,赤潮前氧含量高于赤潮时,赤潮前具有随叶绿素 a增加而升高的分布趋势,赤潮时则具有湾中部含量高,湾顶部及湾外海域较低的分布趋势,与氧饱和度的分布趋势相一致。

赤潮前 pH值与 $\text{O}_2\%$ 呈显著正相关,与盐度呈良好正相关,说明浮游植物的光合作用是影响 pH值的主要因素,物理混合作用只占次要地位; DO与 Chl-a 和 COD的显著正相关,则表明对氧起控制作用的主要因素是生化作用。赤潮时 pH值与盐度和悬浮物的显著正相关及与 $\text{O}_2\%$ 的良好正相关,则说明外海流系与沿岸流系的物理效应对 pH值的影响占主导

地位,生物效应次之; DO则与此相反,生物效应占主导控制地位。

pH值、溶解氧与营养盐的相关分析结果表明,赤潮前, pH值与三态无机氮之间具有负相关影响,其相关性依次为 $\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{NO}_2^-$; 但 DO与四项营养盐之间以及 pH值与 PO_4^{3-} 之间只具有明显的正相关趋势,相关性并不显著。说明前者主要受陆源水所控制,其相关次序则与浮游植物优先吸收 NH_4^+ 有关;后者则意味着赤潮前氧的含量是以产氧的浮游植物光合作用影响为主。赤潮期间, pH值、溶解氧与营养盐之间均具有明显的负相关趋势,其中 pH值与 NO_3^- 和 NO_2^- 的相关性极为显著,与 PO_4^{3-} 和 NH_4^+ 次之;而 DO则以与 NH_4^+ 和 PO_4^{3-} 的相关性较为显著,与 NO_2^- 和 NO_3^- 的相关性较差,这是生物同化作用影响的结果。

参考文献

- 1 张珞平,陈伟琪. 厦门西港赤潮成因的探讨. 海洋环境科学, 1992, 11(3): 71~ 74.
- 2 黄秀清,蒋晓山,王桂兰,等. 长江口中肋骨条藻赤潮发生过程环境要素分析: 水温、盐度、DO和 pH值特征. 海洋通报, 1994, 13(4): 35~ 40.
- 3 黄良民,钱宏林,李锦蓉. 大鹏湾赤潮多发区的叶绿素 a分布与环境关系初探. 海洋与湖沼, 1994, 25(2): 197~ 204.
- 4 韦蔓新,何本茂. 廉州湾富营养化与赤潮形成的研究. 热带海洋, 1998, 17(4): 65~ 72.
- 5 张正斌,顾宏堪,刘蓬生,等. 海洋化学. 上海: 上海科学技术出版社, 1984. 246~ 286.

(责任编辑: 邓大玉 路存涛)

(上接第 220页 Continue from page 220)

参考文献

- 1 袁道先,覃嘉铭,林玉石,等. 桂林 20万年石笋高分辨率古环境重建. 桂林: 广西师范大学出版社, 1999. 17~ 28.
- 2 张美良,袁道先,林玉石,等. 广西灌阳县响水洞石笋的同位素年龄及其古气候意义. 中国岩溶, 1998, 17(4): 311~ 318.
- 3 汪永进,吴江滢,吴金全,等. 末次冰期南京石笋高分辨率气候记录与 GRIP冰芯对比. 中国科学(D辑), 2000, 30(5): 533~ 539.
- 4 Bond G, Heinrich H, Broecker W S, et al. Evidence for massive discharges of icebergs into North Atlantic Ocean during the last glacial period. Nature, 1992, 360 245~ 249.
- 5 Dansgaard W, Johnsen S J, Clausen H B, et al. Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice core. Nature, 1993, 366 552~ 554.

- 6 Heinrich H. Origin and consequence of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic ocean during the past 130000 years. Quaternary Research, 1988, 29 142~ 152.
- 7 郭正堂,刘东生,吴乃琴,等. 最后 2个冰期黄土 Heinrich型的气候节拍. 第四纪研究, 1996, (1): 21~ 23.
- 8 吕厚远,郭正堂,吴乃琴,等. 黄土高原和海南陆架古季风演变的生物记录与 Heinrich事件. 第四纪研究, 1996, (1): 11~ 20.
- 9 叶玮,董光荣,袁玉江,等. 新疆伊犁地区末次冰期气候的不稳定性. 科学通报, 2000, 45(6): 641~ 646.
- 10 Shackleton N J, Opydyke N D. Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of equatorial pacific core V 28-238. Oxygen isotope temperature and ice Volumes on a 10 year and 10^6 year scale. Quaternary Res, 1973, 3 39~ 55.

(责任编辑: 邓大玉)