

胶州湾增养殖海域营养状况与赤潮形成的初步研究*

郝建华 霍文毅 俞志明

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 根据对胶州湾女姑山增养殖海域 1998 年 5 月~9 月的连续监测资料,参照潜在性富营养化的概念,应用 NQI 指数对该海域的营养状况进行分析。认为该海域水质富营养化是 7 月 3~8 日 *Skeletonema costatum* 和 *Biddulphia aurita* 混合型赤潮形成的基础,磷、硅营养盐的消耗是赤潮消亡的主要原因;赤潮消亡之后浮游植物群落发生演替,水体叶绿素 a 仍保持较高含量, NQI 指数也相应较高,水质表现为磷限制潜在性富营养化,由于磷酸盐的限制没有发展为赤潮。

关键词 胶州湾,营养状况,潜在性富营养化,赤潮, NQI

为更好地研究赤潮发生发展规律,选择胶州湾典型增养殖海域进行水质连续跟踪监测,本文根据现场监测资料,对该海域的营养状况进行了分析,并就发生在 1998 年 7 月上旬的一次赤潮事件,拟从富营养

化的角度出发来讨论增养殖区水体营养变化与赤潮

* 国家自然科学基金重大项目 39790110 号。

收稿日期:1999-05-28;修回日期:1999-10-21

形成的关系,为进一步揭示增养殖区赤潮机制提供基本科学依据。

1 采样与分析方法

选择典型增养殖区胶州湾女姑山海域 (36°11'~36°15'N, 120°18'~120°22'E) 为连续监测水域,共布设了5个定点测站(见图1),监测时间从1998年5~9月,采样频率为每周一次,在7月3~8日赤潮发生期间每天采样一次。因该海域平均水深仅为4m,只采集表层水样并测定各项环境参数。

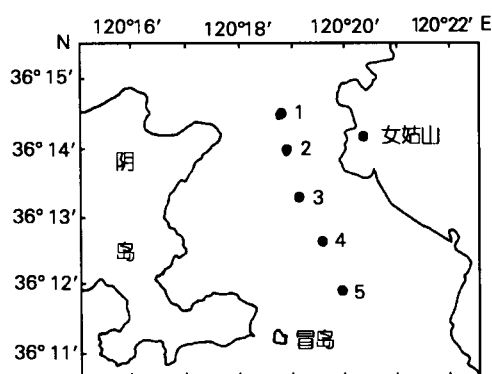


图1 采样站位

Fig.1 Sampling location in Jiaozhou Bay

叶绿素 a 的测定按照 1966 年联合国教科文组织 (UNESCO) 推荐方法,采用 751 型分光光度计进行测定,并根据 Jeffrey-Humphrey 1975 年提出的公式计算其含量。其他环境参数包括:水温 (T)、溶解氧 (DO)、化学耗氧量 (COD)、硝酸氮 (NO₃-N)、亚硝酸氮 (NO₂-N)、氨氮 (NH₃-N)、磷酸盐 (PO₄-P)、硅酸盐 (SiO₃-Si),分析测定按照 1991 年《海洋监测规范》进行。

2 结果

2.1 赤潮生消过程营养盐变化

1998 年 7 月 3~8 日胶州湾女姑山海域发生赤潮,水色呈浅褐色,经鉴定其原因种主要为无毒的中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*) 和高贵盒形藻 (*Biddulphia aurita*)。由于赤潮区随潮流的涨落和时间的变化而不断移动,因此没有观测到标准的发展阶段。以叶绿素 a 代表赤潮藻生物量,根据其变化,将整个过程区分为增长期 (7.3~7.5) 与消退期 (7.6~7.8) 两个阶段。赤潮发生过程叶绿素 a 与营养盐的变

化见图 2。

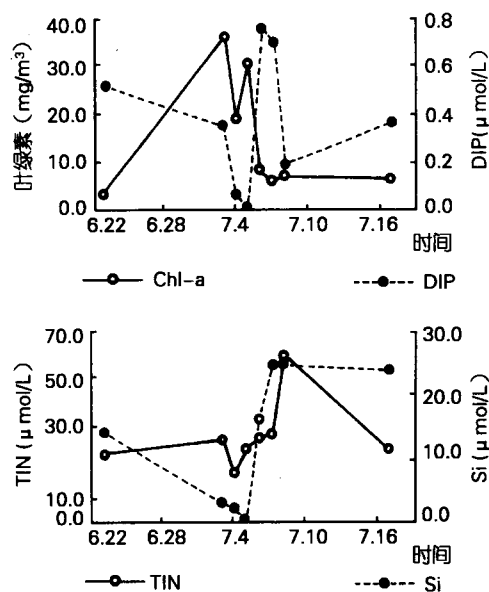


图2 赤潮发生过程叶绿素与营养盐变化 (1998.6.23~1998.7.17)

Fig.2 Variation of the contents of nutrients and chlorophyll-a during the red tide occurrence

从图 2 可见,营养盐的变化与赤潮的消长存在着明显的相关性。在赤潮增长期,叶绿素 a 含量呈上升趋势,表层水体中营养盐浓度则呈现明显的下降趋势,尤其是 PO₄-P 和 SiO₃-Si 变化急剧,至赤潮发育盛期 (7 月 5 日) 降至最低点,在部分测站 PO₄-P 和 SiO₃-Si 浓度降至检测限以下,此时水体中叶绿素 a 含量出现整个赤潮期的最高值 (30.72 mg/m³)。7 月 5 日以后赤潮进入消退阶段,叶绿素 a 含量逐步下降,而营养盐浓度则逐渐恢复至赤潮发生前水平。各营养盐的恢复过程首先出现高值,随后才逐渐降到赤潮发生前水平,其原因可能为:一是赤潮后期浮游植物生物量的降低导致对陆源补充的营养盐利用能力大大降低;二是赤潮后期藻类大量死亡分解导致藻体内营养盐的再释放。对整个赤潮生消过程 (n=8) 的回归分析表明,叶绿素 a 与 TIN 相关性不明显,而与 PO₄-P、SiO₃-Si 则呈较明显的负相关,相关系数分别为 -0.50、-0.89,表明浮游植物的生物量急剧增加导致硅、磷营养盐的快速耗尽而使赤潮逐步消亡。

2.2 水体富营养化评价

用近海海水进行的生物培养实验表明,当 N:P < 8 时,浮游植物生长受氮限制;当 N:P > 30 时则主要受磷限制;适宜生物生长的最佳 N:P 为 18, 接近 Redfield 比值。而我国近海主要河口、港湾水体中氮磷比几乎都偏离 Redfield 值^[1]。目前国内外对水体富营养化评价尚没有统一的方法和标准, 本文对海水富营养化评价的主要目的是探索增殖海域富营养化与赤潮藻增殖的关系, 为能突出反映各营养盐的综合作用, 参照郭卫东等提出的潜在性富营养化的概念和营养级分级标准^[1], 并结合彭云辉等提出的营养状态质量指数(NQI)对女姑山海域富营养化水平进行评价。

$$NQI = COD / COD_0 + TIN / TIN_0 + DIP / DIP_0 + Chl-a / Chl-a_0$$

式中, 分子项分别为化学耗氧量(COD)、总无机氮(TIN)、活性磷酸盐(DIP)和叶绿素 a (Chl-a)的实测值, 分母项为相应参数的评价标准。依据我国新近颁布的《海水水质标准》^[2], 各项参数的评价标准定为: $TIN_0 = 35.71 \mu\text{mol/L}$; $DIP_0 = 1.45 \mu\text{mol/L}$; $COD_0 = 3.0 \text{ mg/L}$; 暂定 $Chl-a_0 = 5.0 \text{ mg/m}^3$ 。

营养级的划分根据氮磷比值与营养状态质量指数(NQI)的大小(表 1)。需说明的是: 对 $NQI > 3$ 的海域, 选用二类海水氮磷标准^[2]确定某一种营养盐限制下的潜在性富营养化。

表 1 营养级划分原则

Tab. 1 Classification of nutrient levels

NQI		营养等级划分	
< 2		贫营养水平	
2 ~ 3		中等营养水平	
> 3	N:P < 8	TIN < 21.41 $\mu\text{mol/L}$ TIN > 21.41 $\mu\text{mol/L}$	氮限制潜在性富营养化 富营养水平
	N:P = 8 ~ 30 N:P > 30	DIP > 0.97 $\mu\text{mol/L}$ DIP < 0.97 $\mu\text{mol/L}$	富营养水平 磷限制潜在性富营养化

2.3 讨论

绝大多数赤潮生物都是自养生物, 它们吸收海水中的营养盐, 利用光合作用合成有机物, 因此, 富营养化水域是赤潮生物增殖的物质基础^[3]。营养状态质量指数 NQI 是水化学指标和生物学指标的综合, 在一定程度上可较为客观地反映环境的营养状况。在赤潮发生前 NQI 值较低, 随赤潮的发生也急剧升高, 赤潮消退后 NQI 也逐步降至最低; 赤潮过后海域 NQI 值波

由于研究海域各测站相距较近, 各项参数空间尺度变化较小, 取同一航次各测站的平均值(见表 2), 按各化学指标均值的时间序列变化, 将整个监测过程划分为 3 个阶段: 第一阶段为 5 月 24 日至 6 月 17 日, N:P 介于 8~30 之间, NQI 指数从 2.5 上升到 3.6, 叶绿素 a 也从 1.38 mg/m^3 增大到 4.90 mg/m^3 , 表明水体从中等营养水平发展到了富营养化水平, TIN、DIP 浓度都超过了 4 类海水水质标准; 第二个阶段从 6 月 23 日至 7 月 8 日, 是完整的赤潮发生过程, 6 月 23 日出现 COD 异常高值, 平均达 10.02 mg/L , 该航次叶绿素 a、TIN、DIP 水平较前一航次均有下降, 可能是受到严重的外来有机污染, 7 月 3~8 日该海域发生大面积赤潮, 浮游植物生物量迅速增加, TIN、DIP 消耗较大, 7 月 8 日赤潮结束后海域理化因子逐渐恢复至赤潮发生前水平, 此航次 TIN 出现最高值(60.88 $\mu\text{mol/L}$); 7 月 8 日至 9 月 3 日为第三阶段, NQI 都保持较高的水平, 除 7 月 17 日为 2.8 外, 其余都大于 3(3.2~7.2), 其中叶绿素 a 远高于 5.0 mg/m^3 的评价标准值, 7 月 31 日最高达 29.78 mg/m^3 , 为 NQI 主要贡献因素, TIN 含量也较高(23.41 $\mu\text{mol/L}$ ~52.85 $\mu\text{mol/L}$), COD 含量在多数时间内都低于 3.0 mg/L 的评价标准, DIP 也保持较低浓度(0.13 $\mu\text{mol/L}$ ~0.88 $\mu\text{mol/L}$), 这段时间该海域属于磷限制潜在性富营养化水平。

动较大, 其主要贡献成分为叶绿素 a, 因而 NQI 值也可以作为赤潮预测的重要指标。但赤潮的发生是十分复杂的过程, 赤潮藻的增殖除需要充足的营养条件外, 还受到水文、气象、生物活动等其他环境条件的影响。作者推测, 在该海域富营养化的条件下, 赤潮发生前发生的大规模降雨可能将大量的陆源污染物带入近海, 随后出现的晴朗、无风、高温天气为赤潮藻的增殖提供了适宜的条件, 进而发展形成赤潮。

表 2 指标参数测定值

Tab.2 Parameters obtained from sampling

时间(月.日)	COD(mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	TIN(μ mol/L)	DIP(μ mol/L)	N:P	NQI
5.24	1.18	1.84	34.99	1.34	26.1	2.5
6.8	1.76	1.38	38.05	2.54	15.0	3.4
6.17	1.51	4.90	34.44	1.91	18.0	3.6
6.23	10.02	3.46	25.32	0.51	49.7	3.8
7.3	2.73	36.35	30.38	0.36	85.3	8.9
7.4	1.49	19.74	18.84	0.07	275.3	4.8
7.5	1.84	30.72	27.02	0.02	1163.0	7.3
7.6	1.77	8.70	31.26	0.76	41.3	3.5
7.7	1.56	6.63	32.44	0.70	46.1	3.0
7.8	1.80	7.50	60.88	0.19	326.7	3.7
7.17	1.19	7.46	27.97	0.38	73.6	2.8
7.21	1.59	20.38	23.41	0.13	186.0	5.2
7.31	1.99	29.78	26.49	0.14	189.2	7.2
8.4	2.18	11.81	36.75	0.22	169.1	4.0
8.11	5.13	17.14	52.85	0.47	113.5	6.3
8.20	2.42	22.34	32.57	0.14	230.8	6.0
8.28	1.65	6.72	34.55	0.88	39.5	3.2
9.3	1.88	13.40	30.64	0.65	47.1	4.4

女姑山海域位于胶州湾北部,涨潮时平均水深约 5 m,退潮时则有大片泥滩露出水面,泥沙底质有利于营养物质的滞留、逐步释放和再生,肥效较高。冬季沉积物中的营养盐比较容易溶出回到水体,周围没有大的河流入海,沿岸海域对虾和贝类养殖密度很高,营养盐补充机制主要是生活污水和养殖废水的排放及沉积物中营养盐的溶出。

综观本年度对女姑山海域的监测资料:春末夏初,该海域氮、磷营养盐充足,水质表现为富营养化,为赤潮的发生提供了必要的营养基础;进入 7 月份后,水温迅速增高,浮游植物增殖较快,如果环境条件出现异常,如暴雨过后水温增高、盐度降低,有可能诱发赤潮;赤潮过后,浮游植物量会再次升高并一直使磷酸盐保持较低浓度,该海域表现为磷限制潜在性富营养化,如出现磷酸盐的异常补充,如养殖废水或生活污水的大量排入,存在再次发生赤潮的可能性。

3 小结

(1) 胶州湾女姑山海域春季氮、磷营养盐含量

高,富营养化严重,是赤潮形成的物质基础;夏季海域生物量很高,N/P 比值远大于 30,海域属于磷限制潜在性富营养化。COD 含量多低于 NQI 评价标准,表明该海域有机污染不严重。

(2) 通过对该海域 7 月初硅藻赤潮的监测分析,赤潮发育盛期很多测站磷、硅营养盐降至检测限以下,可以认为磷、硅营养盐是控制本次赤潮消亡的决定性因素。

(3) 该海域为典型增殖区,沿岸对虾和贝类养殖密度较高,养殖废水对海域营养盐的补充有重要意义。海域夏季属磷限制潜在性富营养化,但这种限制极为外界补充所改变,应当加强对该海域养殖业的综合管理。

参考文献

- 1 郭卫东等.台湾海峡,1998.17(1):64~69
- 2 中华人民共和国国家标准.海水水质标准,1997,GB3097-1997
- 3 张水浸.赤潮及其防治对策.北京:海洋出版社,1994.

PRELIMINARY STUDY ON RED TIDE OCCURRENCE IN RELATION TO NUTRITIONAL CONDITION IN AQUACU- LATURE SEAWATER OF JIAOZHOU BAY

HAO Jian-hua HUO Wen-yi YU Zhi-ming
(*Institute of Oceanology Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

Received: May, 28, 1999

Key Words: Jiaozhou Bay, Nutritional condition, Potential eutrophication, Red tide, *NQI*

Abstract

In 1998 continuous surveys were conducted in situ to monitor red tide in Nugushan seawater of Jiaozhou Bay, and the red tide caused by *Skeletonema costatum* and *Biddulphia aurita* during 7.3-7.8 was recorded. Based on the concept of potential eutrophication, the Nutrient Quality Index (*NQI*) was used to assess the nutritional condition of seawater. The results showed that nutrient-enrichment was the basis of this red tide, silicate and phosphate were two key factors withering away this red tide; From then on, minitype diatom was replaced by larger diatom, the sea area was in the stage of phosphorus-limited potential eutrophication and the algal proliferation was restricted, but the condition was easily changed by external complement.