

◆海洋科学◆

基于海洋生态在线监测浮标数据的钦州湾藻华过程研究*

李 斌¹, 刘保良^{1**}, 陈旭阳², 凌 琳¹, 高劲松³

(1. 国家海洋局北海海洋环境监测中心站, 广西北海 536000; 2. 自然资源部第四海洋研究所, 广西北海 536000; 3. 南宁师范大学, 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西南宁 530001)

摘要:2018年8月19日至23日, 广西钦州湾海域发生由红色赤潮藻(*Akashiwo sanguinea*)引起的藻华暴发现象。为探讨在线监测浮标应用于赤潮预警研究的作用, 本文使用2018年8月16日至27日位于藻华海域的GX11号广西海洋生态在线监测浮标数据, 分析藻华暴发过程前后风速、气温、水温、盐度、pH值、溶解氧、叶绿素a等环境要素的变化趋势, 讨论环境因子对藻类增殖的影响规律。结果表明: 气温、水温回升以及风速由大减小, 有利于藻类聚集增殖, 是藻华发生的环境诱因; 在藻华暴发中期的4 d中pH值最高值分别为8.20, 8.49, 8.42, 8.24, 溶解氧最高值分别为9.01, 12.26, 11.81, 10.22 mg/L, 叶绿素a最高值分别为42.2, 52.3, 25.4, 15.6 $\mu\text{g/L}$, 均主要出现在中午至下午时段, 且数值明显比藻华过程前期和消退期高; pH值、溶解氧、叶绿素a呈显著正相关, 并具有联动的昼夜变化规律。结合气象条件因素, 当在线监测显示pH值、溶解氧、叶绿素a出现同步的波动增大, 特别是叶绿素a达到或接近10.0 $\mu\text{g/L}$ 时, 可开展部分赤潮生物种类的藻华预警。

关键词:藻华 广西 在线监测 浮标 预警

中图分类号: P761.3, X853 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2021)01-0030-07

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20210119.008

0 引言

海洋水产业是我国海洋经济的支柱型产业, 而赤潮对渔业特别是海水养殖业、捕捞渔业危害巨大, 在封闭性较强的内湾可使养殖的鱼、虾、贝类大量死亡。赤潮可改变水体理化特征, 导致渔场生态环境恶化, 广西近岸是赤潮暴发情况较为严重的海域^[1-3], 需要认真研究相关防治对策^[4]。海洋生态在线监测浮标

可实时连续监测海洋环境要素, 跟踪研究赤潮发生至消亡期间海水理化要素的变化; 利用海洋生态在线监测浮标研究赤潮机制和快速预警是近年海洋研究的热点问题^[5-9]。2013年以来, 广西海洋局在广西近岸海域布设了16套海洋生态在线监测浮标, 基于浮标监测数据对广西近岸海域水质状况进行的评价, 均写入了每年的广西海洋环境质量公报中。本研究基于布设在钦州湾海域的GX11号海洋生态在线监测浮

* 国家自然科学基金项目(41966001)和国家海洋局南海分局海洋科学技术局长基金项目(180233)资助。

【作者简介】

李 斌(1985-), 男, 工程师, 主要从事海洋在线监测研究。

【**通信作者】

刘保良(1983-), 男, 高级工程师, 主要从事海洋调查、在线监测研究, E-mail: liubaoliang1983@126.com。

【引用本文】

李斌, 刘保良, 陈旭阳, 等. 基于海洋生态在线监测浮标数据的钦州湾藻华过程研究[J]. 广西科学, 2021, 28(1): 30-36.

LI B, LIU B L, CHEN X Y, et al. Analysis of Algal Bloom in Qinzhou Bay Based on Marine Ecology Online Monitoring Buoy Data [J]. Guangxi Sciences, 2021, 28(1): 30-36.

标监测数据,对2018年8月钦州湾发生藻华过程中的海水环境要素变化进行分析,对在线监测浮标应用于赤潮预警进行初步探讨。

1 材料与方法

1.1 GX11 浮标采样区概况

GX11 海洋生态在线监测浮标位于钦州湾东南海域(108°39'E, 21°39'N),具体位置见图1。2018年8月20日至23日,钦州湾南侧海域发生藻华,现场监测发现该海域大片海水呈淡红褐色,并有淡腥臭味,影响海域面积约2.2 km²;镜检分析显示,藻类第一优势种为红色赤潮藻(*Akashiwo sanguinea*),其细胞密度达 4.37×10^5 个/L,对照《赤潮监测技术规程》(HYT 069-2005)^[10]可见,该值略低于该藻种赤潮生物细胞密度标准限值(5.00×10^5 个/L),故此次藻类增殖暴发的藻华现象可判断为赤潮。8月24日、25日,大范围现场巡视结果表明海水颜色恢复正常,镜检分析结果显示藻类细胞密度恢复到正常水平。GX11 浮标布放点位较靠近此次藻华发生海域的中心位置。

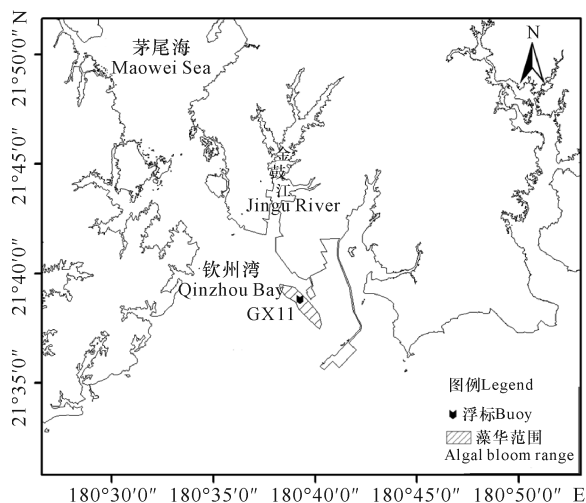


图1 钦州湾 GX11 浮标布放站位及藻华发生海域

Fig. 1 Location of GX11 buoy and algal bloom area in Qinzhou Bay

1.2 主要仪器设备

GX11 海洋生态在线监测浮标搭载美国 YSI 公司生产的 6600 型多参数水质分析仪(监测盐度、pH 值、溶解氧、水温、叶绿素 a)和芬兰维萨拉公司生产的 WXT-520 型气象监测仪(监测风向、风速、气温)。以上浮标搭载的多参数水质分析仪、气象监测仪均通过国家质量技术监督局认证,监测期间由厂家维护团队定期清洗、校准及比对,以保证仪器的工作状态及

监测数据的质量。浮标搭载的数据采集通信装置在搭载仪器获得监测数据后,通过 GPRS 通信卡实时发送至国家海洋局北海海洋环境监测中心站数据接收服务器。

1.3 采样深度、监测阶段及监测指标

GX11 海洋生态在线监测浮标投放海域水深约 6.2 m,浮标水质监测探头位于水下 1.5 m 处,采样频率为 30 min/组,主要监测表层海水水质;气象要素采用气象监测仪监测。结合现场监测、相关文献^[4,5,8,9,11]和浮标连续监测数据,将藻华过程分为暴发前期(8月16日至19日,部分监测指标出现异常,但叶绿素 a 未达赤潮预警值 10.0 μg/L)、暴发中期(8月20日至23日,叶绿素 a 超过赤潮预警值 10.0 μg/L,现场监测发现海水异常现象)、消退期(8月24日至27日,叶绿素 a 低于赤潮预警值 10.0 μg/L,现场监测表明海水水色恢复正常)。

1.4 数据统计及分析

本文基于 GX11 海洋生态在线监测浮标站点 8月16日 00:00-27日 23:30 期间(采集频率:30 min/组,共 576 组)的监测数据,对藻华发生过程前后环境要素(风速、气温、水温、盐度、pH 值、溶解氧、叶绿素 a)的日均值、30 min/组数据变化趋势、每日最高值与最低值等进行分析。采用 SPSS 软件(19.0 版本)对 576 组各环境要素监测数据进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 藻华过程前后各环境要素变化

藻华过程前后(8月16-27日),GX11 浮标监测到的风速、气温、水温、盐度、pH 值、溶解氧、叶绿素 a 日均值变化见表1,各环境要素 30 min/组的变化趋势见图2,其中藻华暴发时段发生在8月20日至23日。

2.1.1 藻华过程暴发前期

监测结果表明,藻华发生前(8月16日至19日),气温及水温较低,风速较高。整个研究时段气温日均值最低值 27.5℃ 出现在 8月17日,水温日均值最低值 29.9℃ 出现在 8月18日,风速日均值最高值 7.1 m/s 出现在 8月16日;盐度、pH 值、溶解氧变化趋势较为平稳,虽然出现随昼夜变化产生的波动,但波动范围较小。值得注意的是,叶绿素 a 含量在 8月18日和19日出现 2 次波峰,17日上午叶绿素 a 含量达到 9.8 μg/L 的高值。广西近海相关研究^[9,11]表

明,叶绿素 a 含量达到 $10.0 \mu\text{g/L}$ 时,赤潮暴发的可能性增加,所以此次监测数据的异常现象引起了浮标

表 1 钦州湾藻华海域各环境要素的日均值

Table 1 Daily average of environmental factors in algal bloom area of Qinzhou Bay

日期 Date	日均值 Daily average						
	气温 Air temperature (°C)	水温 Water temperature (°C)	风速 Wind speed (m/s)	盐度 Salinity	pH 值 pH value	溶解氧含量 DO content (mg/L)	叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content ($\mu\text{g/L}$)
2018-08-16	28.5	30.2	7.1	23.764	7.86	4.98	1.8
2018-08-17	27.5	30.0	4.3	23.963	7.86	5.13	3.3
2018-08-18	28.3	29.9	2.7	22.122	7.79	4.92	2.1
2018-08-19	29.7	30.2	3.3	19.711	7.83	5.89	6.8
2018-08-20	30.3	30.4	3.9	19.411	7.87	7.03	9.5
2018-08-21	30.4	30.7	2.8	20.698	7.88	7.00	8.3
2018-08-22	30.2	30.7	3.3	21.488	7.79	6.27	5.1
2018-08-23	29.6	31.0	3.1	21.445	7.73	6.09	4.1
2018-08-24	28.9	31.2	3.9	21.188	7.65	5.79	2.2
2018-08-25	28.5	31.2	4.2	20.794	7.61	5.76	1.8
2018-08-26	29.9	31.2	4.4	20.738	7.55	5.49	1.9
2018-08-27	29.6	31.1	4.5	21.423	7.57	5.31	2.1

2.1.2 藻华过程暴发中期

监测结果表明,藻华过程暴发中期(8月20日至23日),气温及水温较藻华暴发前期明显升高,风速有所降低。其中:整个研究时段中,气温日均值最高值 30.4°C 出现在8月21日,风速日均值最低值 2.8 m/s 出现在8月21日;进一步分析可见,从20日中午开始,气温、水温回升,风速减小,有利于藻类在稳定表层海水环境下聚集和较快速增殖。8月20日至23日,盐度呈较规律的昼夜变化,波动范围比前期略大,总体变化范围较为平稳,因浮标所在海域为金鼓江河口,我们认为盐度变化主要受到江水入海和潮汐的影响。8月20日至23日,pH值、溶解氧、叶绿素 a 指标值均从早上8时起逐渐升高,凌晨零点后逐渐降低,呈较为同步和规律的昼夜变化,且波动范围明显比前期较大,期间每日监测到的 pH 值最高值分别为 8.20, 8.49, 8.42, 8.24, 溶解氧含量最高值分别为 9.01, 12.26, 11.81, 10.22 mg/L, 叶绿素 a 含量最高值分别为 42.2, 52.3, 25.4, 15.6 $\mu\text{g/L}$, 均主要出现在中午至下午时段,且数值明显比藻华过程暴发前期、消退期高。8月20日至23日4d中,叶绿素 a 含量最高值均大于文献中赤潮预警值 $10.0 \mu\text{g/L}$ [4,5,8,9,11]。叶绿素 a 是海水中浮游植物生物量的重要表征,水体中叶绿素 a 含量较高代表着浮游植物生

监测值班人员的注意,并及时向相关部门提出了预警。

物量较高,而浮游植物叶绿素 a 的合成与光照周期较为相关 [12],在中午至下午光照强时段浮游植物光合作用较强,增殖较快,导致生物量变高,同时叶绿素 a 含量出现高值。

2.1.3 藻华过程消退期

监测结果表明,藻华过程消退期(8月24日至27日),气温日均值比藻华过程暴发中期略有降低,水温每日监测的最高值也比中期最高值低,风速日均值比中期有所增高,气温、水温的下降以及风速增大有利于藻类增殖导致的藻华或赤潮消退。相关研究表明:藻类增殖导致的藻华或赤潮暴发与消退,水文气象因素的影响和制约作用较为明显 [13-15],此次藻华过程再次作了印证。而盐度波动趋势较为平稳,与暴发中期相比变化不大;pH值、溶解氧、叶绿素 a 指标值同样呈现较为同步和规律的昼夜变化,但波动范围比暴发中期明显较小。总的来说,消退期3个环境要素的每日最高值、日均值均比暴发中期小(特别是 pH 值每日最低值比暴发前期、暴发中期都小,藻华过程消退期叶绿素 a 日均值分别为 2.2, 1.8, 1.9, 2.1 mg/L), pH 值、溶解氧、叶绿素 a 基本恢复到了长期监测时的日均值正常水平,表明藻华已消退,后续现场巡查也未发现海水异常。

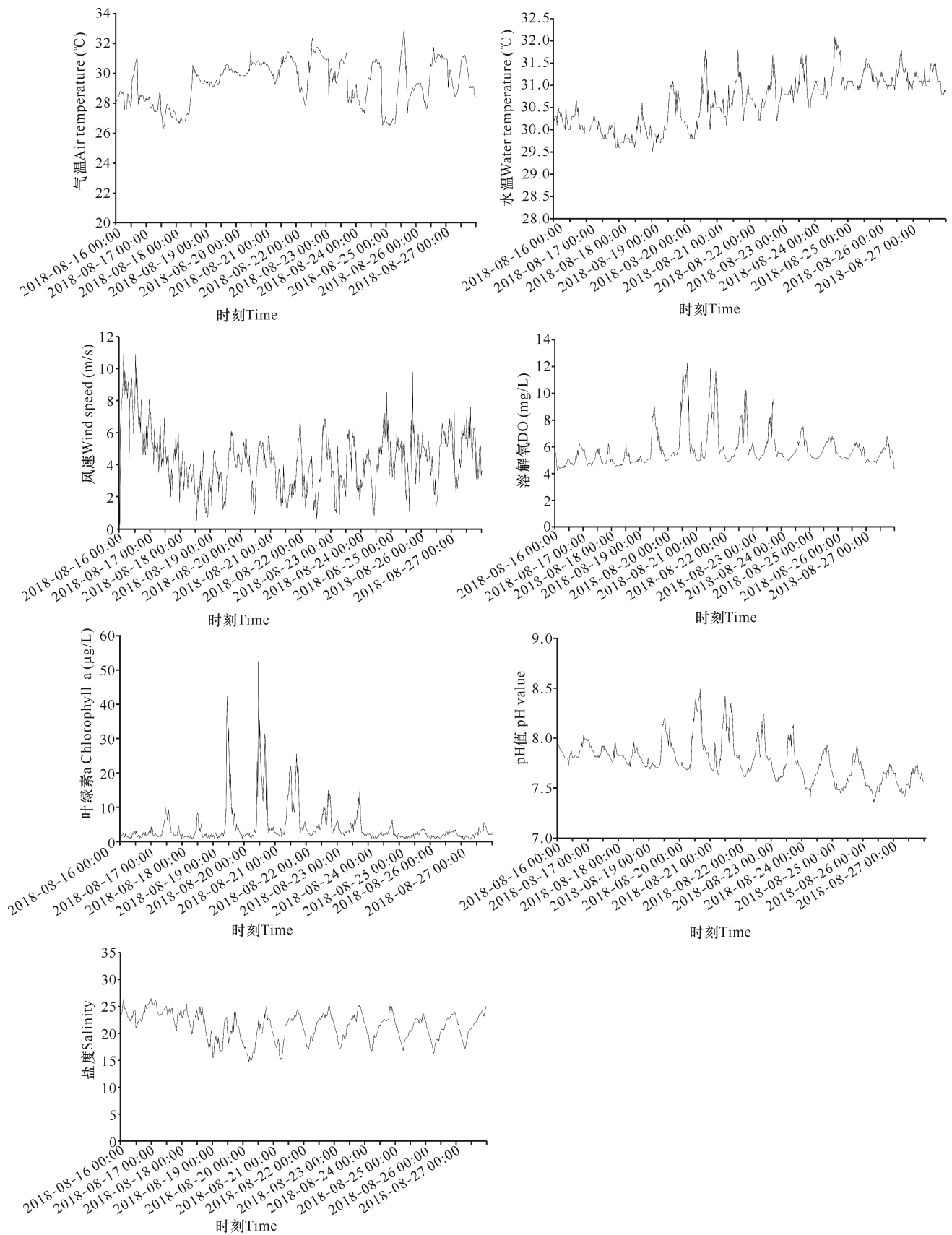


图 2 钦州湾藻华海域各环境要素变化趋势(30 min/组)

Fig. 2 Variation trend of environmental factors in algal bloom area of Qinzhou Bay (30 min/group)

2.2 各环境要素的相关性分析

对藻华过程前后(8月16日00:00-27日23:30期间)GX11号海洋生态浮标的576组数据(采样频率30 min/组)的监测环境要素进行相关性分析,结果见表2。

率30 min/组)的监测环境要素进行相关性分析,结果见表2。

Table 2 Correlation analysis of monitoring environmental factors in algal bloom area of Qinzhou Bay ($n = 576$)

环境要素 Environmental factors	风速 Wind speed	气温 Air temperature	水温 Water temperature	盐度 Salinity	溶解氧 DO	pH值 pH value	叶绿素 a Chlorophyll a
风速 Wind speed	1						
气温 Air temperature	-0.104**	1					
水温 Water temperature	0.061**	0.443**	1				
盐度 Salinity	0.302**	-0.036	-0.013	1			
溶解氧 DO	-0.161**	0.458**	0.396**	0.134**	1		
pH值 pH value	0.011	0.242**	-0.150**	0.450**	0.736**	1	
叶绿素 a Chlorophyll a	-0.228**	0.288**	0.102*	0.094*	0.814**	0.702**	1

注: **表示在0.01的水平上显著相关, *表示在0.05的水平上显著相关

Note: ** means significant correlation at the level of 0.01, * means significant correlation at the level of 0.05

表2结果表明,本次藻华过程前后,水质因子中的叶绿素 a、pH 值、溶解氧三者之间均具有显著的正相关关系,三者具有联动的波动规律,而叶绿素 a 含量是赤潮生物密度的重要表征参数。白天时段光照较强,浮游植物暴发性增殖,其光合作用吸收二氧化碳、释放氧气,使得海水中溶解氧含量升高,而光合作用消耗下二氧化碳浓度降低,导致海水中碳酸氢根减少,使得海水的 pH 值升高,浮游植物密度增大使得叶绿素 a 含量升高;夜晚时段浮游植物以暗反应为主,吸收氧气释放二氧化碳,从而导致海水溶解氧含量和 pH 值降低。风速与叶绿素 a 在 0.01 的水平上显著负相关:风速较小时,表层海水较稳定,藻类易于聚集和快速增殖,造成叶绿素 a 含量升高;风速增大时可使海水环境波动增大,促进藻类扩散和藻华消退。这与相关研究报道^[13-15]一致。有研究^[9,11,16,17]表明,藻华或赤潮的暴发与叶绿素 a、pH 值、溶解氧显著相关。因此,在生态预警监测中,一旦出现叶绿素 a、pH 值、溶解氧监测值迅速升高,甚至超出正常范围,且出现联动的强烈波动时,应预警赤潮发生的可能。

3 讨论

研究表明,赤潮或藻华暴发过程中溶解氧、pH

值、叶绿素 a 等环境要素值会出现异常变化。在浮游植物暴发增殖前期,由于生物量的增多和光合作用的释放,白天时段表层海水中溶解氧含量会显著升高。本研究中,在线监测数据也表明表层海水中溶解氧含量显著升高,但本次藻华过程未出现溶解氧含量迅速下降的现象,可能是因为本次藻华过程暴发中期浮游植物密度未达到赤潮生物密度阈值。溶解氧含量的迅速下降需要浮游植物密度达到较大值(例如超过赤潮阈值),当浮游植物大量消耗溶解氧时才会导致表层海水中溶解氧含量迅速下降,进而使大量海洋生物因缺氧而死亡,这也是赤潮的主要危害之一。pH 值的显著升高主要受浮游植物暴发增殖的影响。水中游离氧含量增多并与 H^+ 离子结合成为水分子,同时浮游植物消耗了大量的碳酸氢根离子作为光合作用的碳源转换为含碳化合物,从而导致水中酸度下降、pH 值升高^[18]。自然界中浮游植物叶绿素以叶绿素 a 占绝大多数^[16]。有害藻类暴发性繁殖引起的藻华现象中,藻类的聚集和增殖会导致叶绿素显著升高,因此叶绿素 a 的异常波动可作为赤潮暴发的重要依据^[19]。相关研究表明,赤潮发生时叶绿素 a 含量通常超过 $10.0 \mu\text{g/L}$,并将此浓度作为藻华暴发的依据^[4,5,8,9,11,21]。本次钦州湾藻华过程中同样出现了叶绿素 a 含量大于 $10.0 \mu\text{g/L}$ 的现象,但细胞浓度却没

有达到赤潮的标准。这可能是暴发增殖的藻类不同,导致叶绿素 a 达到预警值而藻类细胞浓度未达赤潮标准的现象^[8],因此在实际预警工作开展中要密切关注其他环境要素的异常,并借鉴相关研究^[5-8,21-23]的经验。

4 结论

(1)气温、水温回升和风速由大减小使得表层海水环境稳定,有利于藻类的聚集和快速增殖,是藻华发生的环境诱因。

(2)水温、盐度、pH 值、溶解氧、叶绿素 a 呈明显的昼夜变化规律。藻华暴发阶段,pH 值、溶解氧、叶绿素 a 呈较为同步和规律的昼夜变化,且波动范围明显比前期较大。pH 值、溶解氧、叶绿素 a 三者之间均具有显著的正相关,并具有联动的波动规律。

(3)钦州湾 GX11 浮标监测数据表明:当环境条件出现气温、水温回升,风速减小且在线监测的 pH 值、溶解氧、叶绿素 a 指标值波动范围增大,特别是叶绿素 a 达到或接近 10.0 $\mu\text{g/L}$ 时,可对相关海洋部门开展藻华甚至赤潮可能发生的预警,以便及时布置现场调查,为海洋防灾减灾提供宝贵的时间。

参考文献

- [1] 符文侠,黄文祥.中国沿海赤潮危害及原因分析[J].海洋开发与管理,1994(1):45-47.
- [2] 庄军莲,许铭本,张荣灿,等.广西防城港湾浮游植物数量周年变化特征[J].广西科学,2010,17(4):387-390,395.
- [3] 覃仙玲,陈波.广西沿海赤潮多发区高浓度氮磷营养元素来源探讨[J].广西科学院学报,2018,34(3):222-227.
- [4] 张水浸,杨清良,邱辉煌,等.赤潮及其防治对策[M].北京:海洋出版社,1994.
- [5] 张建乐,张心宇,张永丰,等.北戴河海域夏季叶绿素 a 分布特征及其与 pH、溶解氧的关系[J].海洋湖沼通报,2015(4):155-160.
- [6] 周秋伶,马方方,张永丰,等.风暴潮过后秦皇岛海域两次赤潮过程浮标数据变化[J].海洋技术学报,2018,37(1):68-73.
- [7] 赵聪蛟,刘希真,付声景,等.基于水质浮标在线监测的米氏凯伦藻赤潮过程及环境因子变化特征分析[J].热带海洋学报,2020,39(2):88-97.
- [8] 李天深,蓝文陆,卢印思,等.近岸海域自动监测浮标在赤潮预警中的应用及其缺陷[J].海洋预报,2015,32(1):70-78.
- [9] 陈旭阳,刘保良.海洋在线监测浮标在赤潮监测中的应用研究[J].热带海洋学报,2018,37(5):24-28.
- [10] 中华人民共和国国家海洋局.赤潮监测技术规程:HYT 069-2005[S].北京:中国标准出版社,2005.
- [11] 李天深,李远强,赖春苗,等.廉洲湾赤潮自动监测结果与分析[J].中国环境监测,2011,27(4):32-35.
- [12] HITCHCOCK G L. Diel variation in chlorophyll a, carbohydrate and protein content of the marine diatom *Skeletonema costatum* [J]. Marine Biology, 1980, 57(4):271-278.
- [13] 曹兵,高清清,何佩东,等.江苏海域赤潮发生消亡与水文气象因子关系研究[J].海洋湖沼通报,2019(3):36-42.
- [14] 黄小平,黄良民,谭烨辉,等.近海赤潮发生与环境条件之间的关系[J].海洋环境科学,2002,21(4):63-69.
- [15] 张俊峰,俞建良,庞海龙,等.利用水文气象要素因子的变化趋势预测南海区赤潮的发生[J].海洋预报,2006,23(1):9-19.
- [16] 庄宏儒.水质自动监测系统在厦门同安湾赤潮短期预报中的应用[J].海洋环境科学,2006,25(2):58-61.
- [17] 许昆灿,暨卫东,周秋麟,等.表观增氧量在近岸海域赤潮快速评价与预警中的应用[J].台湾海峡,2004,23(4):417-422.
- [18] 叶丽娜.赤潮监测预警体系的建设[J].厦门科技,2007(3):44-47.
- [19] 曾江宁,曾淦宁,黄韦良,等.赤潮影响因素研究进展[J].海洋学研究,2004,22(2):40-47.
- [20] 蔡励勋.厦门同安湾海域赤潮期间叶绿素变化的若干典型特征[J].海洋环境科学,2008,27(4):331-334.
- [21] 李炳南,赵冬至,蒋雪中,等.赤潮灾害应急决策支持系统的概念设计[J].海洋环境科学,2014,33(3):418-424.
- [22] 张少峰,李武全,林明裕,等.涠洲岛海域赤潮发生与海洋水文气象关系初步研究[J].广西科学,2009,16(2):200-202.
- [23] 韦蔓新,何本茂,赖廷和.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[J].广西科学,2004,11(3):221-224.

Analysis of Algal Bloom in Qinzhou Bay Based on Marine Ecology Online Monitoring Buoy Data

LI Bin¹, LIU Baoliang¹, CHEN Xuyang², LING Lin¹, GAO Jingsong³

(1. Beihai Marine Environmental Monitoring Center Station, State Oceanic Administration, Beihai, Guangxi, 536000, China;

2. Fourth Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Beihai, Guangxi, 536000, China; 3. Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf, Ministry of Education, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi, 530001, China)

Abstract: From August 20 to 23, 2018, algal blooms caused by the *Akashiwo sanguinea* occurred in Qinzhou Bay, Guangxi. In order to explore the role of online monitoring buoys in red tide early warning research, based on the data of Guangxi marine ecological online monitoring buoy GX11 located in the algal bloom sea area from August 16 to 27, 2018, the variation trends of environmental factors such as wind speed, air temperature, water temperature, salinity, pH value, dissolved oxygen and chlorophyll before and after the algal bloom were analyzed, and the influence of environmental factors on algae proliferation was discussed. The results showed that the rise of air temperature and water temperature and the great decrease of wind speed were beneficial to the aggregation and proliferation of algae, which were the environmental inducements of algae bloom. During the four days of algal bloom outbreak stage, the highest pH values were 8.20, 8.49, 8.42 and 8.24, respectively, the highest values of dissolved oxygen were 9.01, 12.26, 11.81, 10.22 mg/L, and the highest values of chlorophyll a were 42.2, 52.3, 25.4, 15.6 $\mu\text{g/L}$, respectively, all of which mainly appeared from noon to afternoon and the values were significantly higher than those in the early and regression phases of the algal bloom process. There was a significant positive correlation between pH value, dissolved oxygen and chlorophyll a, and there was a linked diurnal change rule. Combined with meteorological conditions, the early warning of algal blooms for some species of red tide organisms can be carried out when online monitoring shows that the synchronous fluctuation of pH value, dissolved oxygen and chlorophyll a increases, especially when chlorophyll a reaches or approaches 10.0 $\mu\text{g/L}$.

Key words: algal bloom, Guangxi, online monitoring, buoy, early warning

责任编辑: 陆雁



微信公众号投稿更便捷

联系电话: 0771-2503923

邮箱: gxxk@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxxk.ijournal.cn/gxxk/ch>