

# Impact of Three Typhoon Events upon Surface Water of Sanggou Bay and Ailian Bay

Longfei Lu<sup>1</sup>, Lirong Chang<sup>1\*</sup>, Luyang Xiao<sup>1</sup>, Jianfeng Che<sup>1</sup>, Lin Yan<sup>1</sup>, Qingkun Cao<sup>1</sup>, Zhenhua Wang<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Weihai Changqing Ocean Science and Technology Co., Ltd., Rongcheng Shandong

<sup>2</sup>Xunshan Group Co., Ltd., Rongcheng Shandong

Email: lulongfei567@163.com, \*xs\_chengguo@163.com

Received: Dec. 31<sup>st</sup>, 2019; accepted: Jan. 13<sup>th</sup>, 2020; published: Jan. 20<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

During August and September, 2019, three typhoons Lekima, LINGLING and TAPAH successively crossed Yellow Sea area, influencing coastal waters of Rongcheng City, Shandong Province. In this paper, the changes of hydrological parameters, nutrients, microorganisms of surface water in Sanggou Bay and Ailian bay before and after three typhoon events were investigated. The results show that three typhoon events had a significant impact on the investigated sea area, increasing the concentration of dissolved inorganic nitrogen and ratio of N/P value by 43.62%, 144.73%, respectively, but not the concentration of dissolved inorganic phosphate. And the phosphorus limitation is exacerbated just after typhoon. The correlation between the occurrence of typhoon events and concentration of chl<sub>a</sub> was significantly negative ( $P < 0.01$ ). Typhoon Lekima and TAPAH significantly reduced the content of chl<sub>a</sub> by 47.41% and 81.52%, respectively. Aqua culturing with different species could affect the water quality and biological composition. After typhoon events, the N/P value of none-algae breeding area increased greater than that of algae breeding area.

## Keywords

Sanggou Bay, Ailian Bay, Typhoon, Nutrients, Phosphorus Limitation

# 台风对桑沟湾、爱莲湾表层海水的影响探究

卢龙飞<sup>1</sup>, 常丽荣<sup>1\*</sup>, 肖露阳<sup>1</sup>, 车建锋<sup>1</sup>, 颜琳<sup>1</sup>, 曹庆锬<sup>1</sup>, 王振华<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>威海长青海洋科技股份有限公司, 山东 荣成

<sup>2</sup>寻山集团有限公司, 山东 荣成

Email: lulongfei567@163.com, \*xs\_chengguo@163.com

收稿日期: 2019年12月31日; 录用日期: 2020年1月13日; 发布日期: 2020年1月20日

\*通讯作者。

文章引用: 卢龙飞, 常丽荣, 肖露阳, 车建锋, 颜琳, 曹庆锬, 王振华. 台风对桑沟湾、爱莲湾表层海水的影响探究[J]. 环境保护前沿, 2020, 10(1): 39-48. DOI: 10.12677/aep.2020.101005

## 摘要

2019年8~9月, 超强台风利奇马、强台风玲玲、强台风塔巴分别过境黄海海域, 影响范围均覆盖山东省荣成市周边海域。本文跟踪调查了台风影响前后桑沟湾、爱莲湾典型养殖海区的海表水文、营养盐、微生物等参数的变化, 结果表明: 三次台风过境均对调查海域产生显著影响, 将硝酸盐平均提升了43.62%, 对磷酸盐的影响不一致, 将N/P比平均提升了144.73%, 在短时间内加剧了磷限制现象; 台风发生与叶绿素浓度呈现极显著负相关( $p < 0.01$ ), 利奇马和塔巴的过境分别将水体中叶绿素的含量显著降低了47.41%、81.52%; 养殖对象能够影响养殖区的水质和生物构成, 台风过境后, 无藻类养殖区的N/P值提升程度要高于藻类养殖区。

## 关键词

桑沟湾, 爱莲湾, 台风, 营养盐, 磷限制

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

台风是一个剧烈的海气相互作用过程, 其过境能够引起海水水文动力环境的显著变化, 包括垂直混合和水平混合, 对海洋水文、营养盐、及渔业养殖、沿岸经济等产生重大影响[1]。杜俊民等的研究表明台风“碧利斯”显著提升了台湾海峡西部表层海水溶解无机氮浓度, 而对磷酸盐影响则较小[2]。王腾等跟踪调查了台风“苏力”、“潭美”登陆后闽江口营养盐的变化, 结果发现无机氮、无机磷在两次台风登陆后均显著提升[3]。台风过境所引发的上升流也能够促进浮游植物的生长[4] [5]。Shi 和 Wang 的研究表明, 2005 年台风 Katrina 在登陆墨西哥海湾后, 叶绿素 a 浓度从  $0.3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  升到  $1.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  [6]。付东洋等对中国近海以及西北太平洋海域在 2000~2007 年发生的近百次台风进行了系统分析, 结果表明台风过境能够使叶绿素 a 的浓度平均增长 1.426 倍, 个别区域在 5 倍以上[7]。Son 等的研究表明, 台风过境后叶绿素浓度、无机氮、无机磷浓度分别增加 70%、90%、40% [8]。但到目前为止, 针对台风对表层海水的影响多基于卫星遥感数据, 实测值依然不足。

桑沟湾和爱莲湾位于山东半岛东部, 均属半封闭性内湾, 与黄海相连, 是我国北方重要的海水养殖基地。从 20 世纪 80 年代起桑沟湾就开始进行大规模浮筏养殖, 主要养殖种类有海带(*Laminaria japonica*)、江蓠(*Gracilaria*)、栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)、长牡蛎(*Crassostrea gigas*)和鲍(*Haliotis discus hannai*)等。近年来, 由于受国内外水产品市场需求量日益增长刺激, 桑沟湾和爱莲湾海域的海水养殖越来越受重视。而海水中的氮、磷、硅等营养盐是海洋生产力的基础, 也是桑沟湾和爱莲湾养殖水产养殖业的基石。根据历史气象数据, 荣成市是山东省台风登陆的最主要区域之一, 季节主要集中在 7~9 月份, 而有关台风对荣成周边海区的影响则极少见报告, 不利于深入探究该区域的养殖密度、元素循环等。

本文推测台风过境会对表层水体产生显著影响, 跟踪调查了 8~9 月份桑沟湾、爱莲湾的环境参数, 分析了台风对桑沟湾和爱莲湾的海表水文、营养盐、微生物等的影响, 初步认识和探究了养殖海域对台风过程的响应规律和机制, 具有重要的科学意义和应用价值。

## 2. 材料和方法

### 2.1. 研究海域和采样站位

2019年7月31日~9月19日搭载快艇在桑沟湾、爱莲湾海域挑选典型养殖站位进行了现场采样及样品处理,共设12个采样站位(表1)。采样周期为每周一次。采用美国YSI556型多参数水质监测仪测定海水表层温度、盐度、溶解氧、pH等环境参数。海水透明度为赛克(Secchi)深度,采用直径为30 cm的白色赛克盘测定。

**Table 1.** Characteristics of sampling stations

**表 1.** 调查站位特征

站位	经度	纬度	描述	养殖类型
AL-1	122°34'7.99"	37°10'25.38"	爱莲湾低区	扇贝
AL-2	122°34'13.87"	37°10'17.94"	爱莲湾低区	海参
AL-3	122°34'32.41"	37°10'12.17"	爱莲湾低区	扇贝 + 江蓠(海带)
AL-4	122°34'56.71"	37°9'59.69"	爱莲湾中区	江蓠(海带)
AL-5	122°35'49.17"	37°9'26.66"	爱莲湾中区	鲍 + 江蓠(海带)
AL-6	122°36'30.04"	37°8'32.66"	爱莲湾高区	鲍 + 江蓠(海带)
SG-1	122°35'6.41"	37°8'48.51"	桑沟湾低区	江蓠(海带)
SG-2	122°35'46.32"	37°8'46.31"	桑沟湾中区	江蓠(海带)
SG-3	122°37'21.54"	37°8'20.39"	桑沟湾高区	江蓠(海带)
SG-4	122°33'23.16"	37°8'49.53"	桑沟湾低区	无
SG-5	122°33'30.61"	37°8'15.61"	桑沟湾中区	无
SG-6	122°33'39.04"	37°7'42.39"	桑沟湾高区	无

注:低区指水深在10 m以内;中区指水深在10~20 m之间;高区指水深在20 m以上。江蓠(海带)指在海带收获后(4~6月份),轮养江蓠,在调查期间,养殖区域以江蓠养殖为主,另有小部分未收获海带与野生小海带。

### 2.2. 营养盐测定

每个站位均采集深度为1.5 m的表层水,在2 h内运回实验室,测定营养盐浓度和生物参数。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度测定采用次溴酸钠氧化法(GB/T 12763.4-2007), $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度测定采用重氮-偶氮法(GB/T 12763.4-2007), $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 浓度测定采用锌-镉还原法(GB/T 12763.4-2007),总磷浓度( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )测定采用磷钼蓝分光光度法(GB/T 12763.4-2007)。总无机氮浓度为氨盐、硝酸盐和亚硝酸盐浓度之和,无机氮磷氮/磷(N/P)比值为总无机氮浓度和总磷浓度的比值。

### 2.3. 生物参数测定

叶绿素浓度测定采用丙酮萃取分光光度法,可培养细菌丰度测定采用2216E平板稀释涂布计数,可培养弧菌丰度测定采用TCBS平板涂布计数。弧菌/细菌数量比(Ratio of vibrio to bacteria, V/B)为可培养弧菌丰度和可培养细菌丰度的比值。

### 2.4. 数据分析

采用SPSS 19.0软件进行单因素方差分析(One way ANOVA)、相关性分析(Spearman)和配对样品T检验, $p < 0.05$ 为差异显著, $p < 0.01$ 为差异极显著。采用Sigma-Plot 12.0软件作图。

### 3. 结果

#### 3.1. 环境参数

在监测期间，共有三次台风对桑沟湾和爱莲湾海域产生影响，分别为超强台风利奇马(Lekima) (8月10~12日)、强台风玲玲(LINGLING) (9月7~8日)及强台风塔巴(TAPAH) (9月21~24日)，其中利奇马台风对调查海域的影响最为严重。通过图1，可明显看出三次强弱不同的台风对浪高和风速产生极显著的影响(数据源自 <http://hyj.shandong.gov.cn>)。期间浪高平均值为0.84 m，浪高变化与台风过境时间、台风强度吻合，三次台风分别引发的最大浪高分别为3.8、3.2、2.4 m。

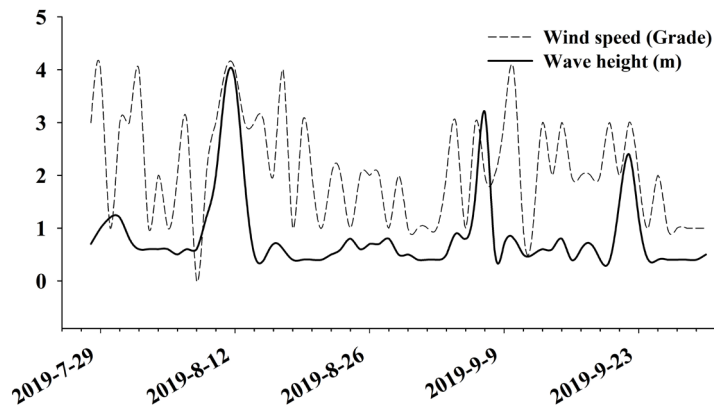


Figure 1. Wave height and wind speed during experiments  
图1. 监测期间浪高、风速日变化

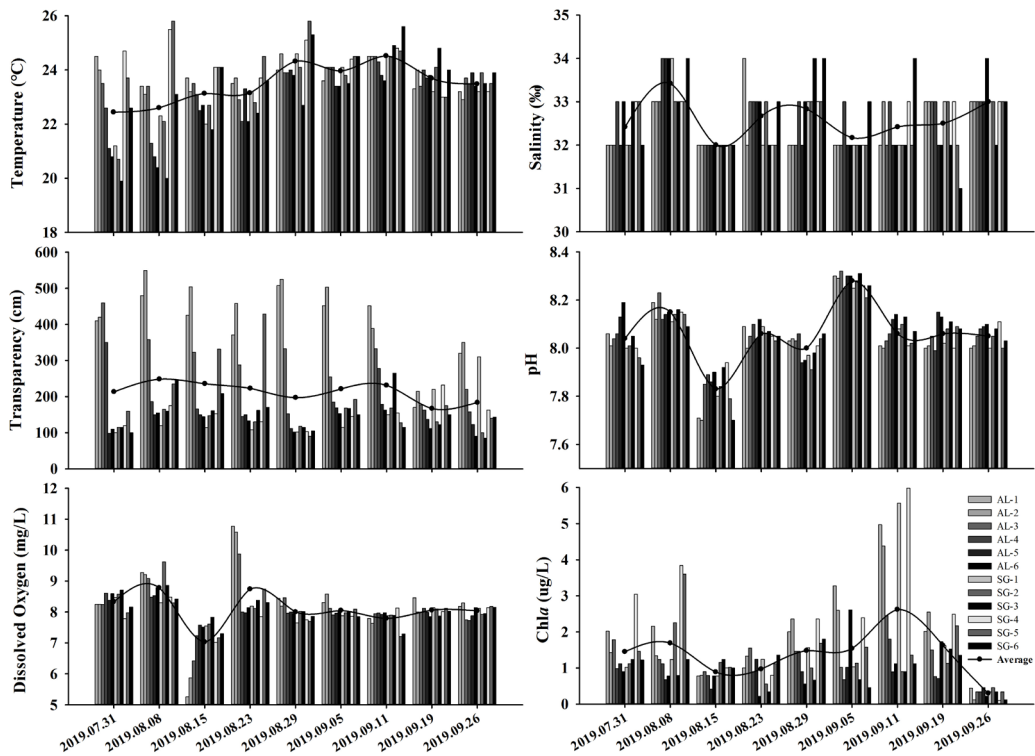


Figure 2. Temperature, salinity, transparency, pH, dissolved oxygen and Chl a during experiments  
图2. 监测期间水温、盐度、透明度、pH、溶解氧、叶绿素 a 浓度变化

**Table 2.** Averages of parameters of low, middle, and high regions  
**表 2.** 调查海域高、中、低区参数平均值

Parameters	Low region	Middle region	High region
Temperature ( °C)	23.72 <sup>a</sup>	23.44 <sup>ab</sup>	23.12 <sup>b</sup>
Salinity (‰)	32.53	32.61	32.70
Transparency (cm)	287.87 <sup>a</sup>	171.47 <sup>b</sup>	144.48 <sup>b</sup>
pH	8.05	8.06	8.08
Dissolved Oxygen (mg/L)	8.14	8.04	8.07
Chla (µg/L)	1.87 <sup>a</sup>	1.12 <sup>b</sup>	0.97 <sup>b</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (µM)	2.18	2.22	2.00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (µM)	11.90	12.10	10.90
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (µM)	1.41	1.58	1.82
TN (µM)	15.50	15.91	14.73
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (µM)	0.29	0.25	0.31
N/P	134.96	137.85	95.94
BA (cells/mL)	10390.77 <sup>a</sup>	6043.19 <sup>b</sup>	6362.04 <sup>b</sup>
VA (cells/mL)	1154.78 <sup>a</sup>	322.00 <sup>b</sup>	192.61 <sup>b</sup>
V/B	0.11 <sup>a</sup>	0.06 <sup>b</sup>	0.04 <sup>b</sup>

注：不同字母代表差异显著。Low region, 低区；Middle region, 中区；High region, 高区。

在采样期间，水文参数和叶绿素浓度的变化见图 2。表层水温的变化范围为 19.90℃~25.80℃，平均值为 23.48℃，温度随水深增加而降低，低区温度(23.72℃) > 中区(23.44℃) > 高区(23.12℃)，其中低区与高区差异显著( $p < 0.05$ ，单因素方差分析，下同)，见表 2；表层温度与台风发生无显著相关性( $p > 0.05$ )，在强台风玲玲过境后，温度变化极显著( $p < 0.01$ ，配对样品 T 检验，下同)，相比台风前一次采样平均值升高 2.33%。

盐度的变化范围为 31.00‰~34.00‰，平均值为 32.6‰，盐度随水深增加而略有增加，低区盐度(32.53‰) < 中区盐度(32.61‰) < 高区盐度(32.70‰)，各区域差异不显著；盐度与台风发生呈现负相关( $p < 0.05$ )，超强台风利奇马过境后，盐度变化极显著( $p < 0.01$ )，相比台风前一次采样平均值降低 4.24%。

透明度的变化范围为 85.00~550.00 cm，平均值为 213.22 cm，透明度随水深增加而降低，低区透明度(287.87 cm) > 中区(171.47 cm) > 高区(144.48 cm)，其中低区与中区、高区差异显著( $p < 0.05$ )；透明度与台风发生无显著相关性( $p > 0.05$ )，三次台风过境后，透明度变化不显著。

pH 值的变化范围为 7.70~8.32，平均值为 8.06，pH 随水深增加略有升高，低区 pH (8.05) < 中区(8.06) < 高区(8.08)，各区域差异不显著；pH 与台风发生无显著相关性( $p > 0.05$ )，但与浪高极显著负相关( $p < 0.01$ )，超强台风利奇马和强台风玲玲过境后，pH 变化显著( $p < 0.01$ )，相比台风前一次采样平均值分别降低 3.93%、2.58%。

溶解氧(Dissolved Oxygen)的变化范围为 5.26~10.77 mg/L，平均值为 8.09 mg/L，低区的溶解氧浓度相对较高，低区溶解氧(8.14 mg/L) > 中区(8.04 mg/L)、高区(8.07 mg/L)，各区域差异不显著；溶解氧与台风发生呈现极显著负相关( $p < 0.01$ )，超强台风利奇马和强台风玲玲过境后，pH 变化(极)显著( $p < 0.05$ )，相比台风前一次采样平均值分别降低 19.92%、3.13%。

叶绿素浓度的变化范围为 0.10~6.01 µg/L，平均值为 1.40 µg/L，叶绿素浓度随水深增加显著降低，低区 pH (1.87 µg/L) > 中区(1.12 µg/L) > 高区(0.97 µg/L)，低区显著高于中区和高区( $p < 0.05$ )；叶绿素浓度与台风发生呈现极显著负相关( $p < 0.01$ )，超强台风利奇马和强台风塔巴过境后，叶绿素浓度变化显著( $p < 0.05$ )，相比台风前一次采样平均值分别降低 47.41%、81.52%。

### 3.2. 营养盐参数

在采样期间，营养盐浓度和无机氮磷比的变化见图3、图4。总无机氮浓度的变化范围为4.95~56.44 μM，平均值为15.44 μM，中区的总无机氮浓度相对较高，中区总无机氮浓度(15.91 μM) > 低区(15.50 μM) > 高区(14.73 μM)，各区间差异不显著；总无机氮浓度与台风发生呈现极显著正相关( $p < 0.01$ )，超强台风利奇马和强台风塔巴过境后，总无机氮浓度变化(极)显著( $p < 0.05$ )，相比台风前一次采样平均值分别升高94.30%、26.63%。在总无机氮中，硝酸盐是最主要组分，占比为75.91%，铵盐和亚硝酸盐占比分别为13.92%、10.17%，各海区的组分比例差异不显著；硝酸盐、铵盐及亚硝酸盐组分间的时空变化趋势基本一致，均极显著正相关( $p < 0.01$ )。硝酸盐、铵盐、亚硝酸盐浓度均与台风发生呈现正相关关系( $p < 0.01$ )，其中，硝酸盐浓度在三次台风过境后变化均显著( $p < 0.05$ )，铵盐在超强台风利奇马过境后变化极显著( $p < 0.01$ )，亚硝酸盐在强台风塔巴过境后变化显著( $p < 0.05$ )。

磷酸盐浓度的变化范围为0.10-6.01 μM，平均值为1.40 μM，高区的磷酸盐浓度相对较高，高区磷酸盐浓度(0.31 μM) > 低区(0.29 μM) > 高区(0.25 μM)，各区间差异不显著；磷酸盐浓度与台风发生呈现极显著正相关( $p < 0.01$ )，超强台风利奇马和强台风玲玲过境后，磷酸盐浓度变化(极)显著( $p < 0.05$ )，相比台风前一次采样平均值分别升高90.64%和降低74.23%。

无机氮/磷(N/P)的变化范围为11.86~1710.50，平均值为126.17，在监测期间，仅3个采样点(2.78%)的N/P比低于16。高区的N/P比相对最低，高区N/P比(95.94) < 低区(134.96)、中区(137.85)，各区间差异不显著；N/P比与台风发生呈现极显著负相关( $p < 0.01$ )，三次台风过境后，N/P比变化均(极)显著( $p < 0.05$ )，平均值分别提升101.21%、295.11%、37.86% (平均144.72%)。

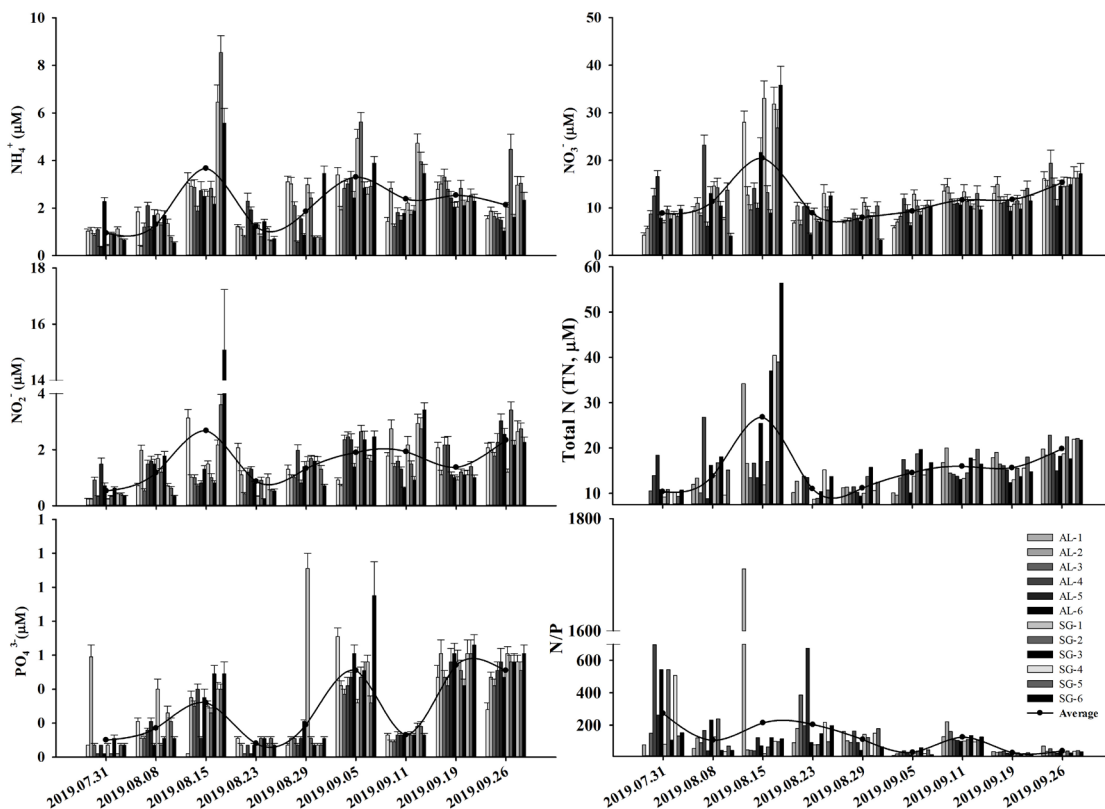
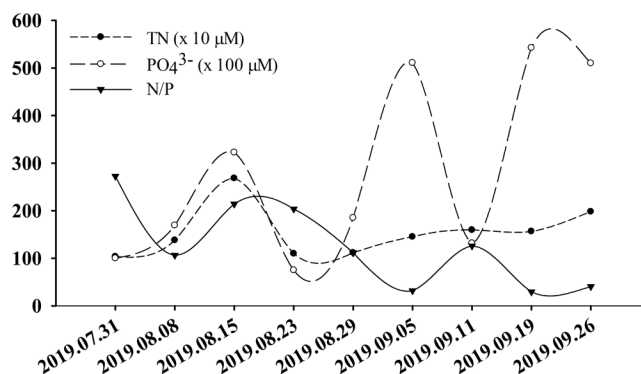


Figure 3.  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , total nitrogen,  $\text{PO}_4^{3-}$ , N/P during experiments

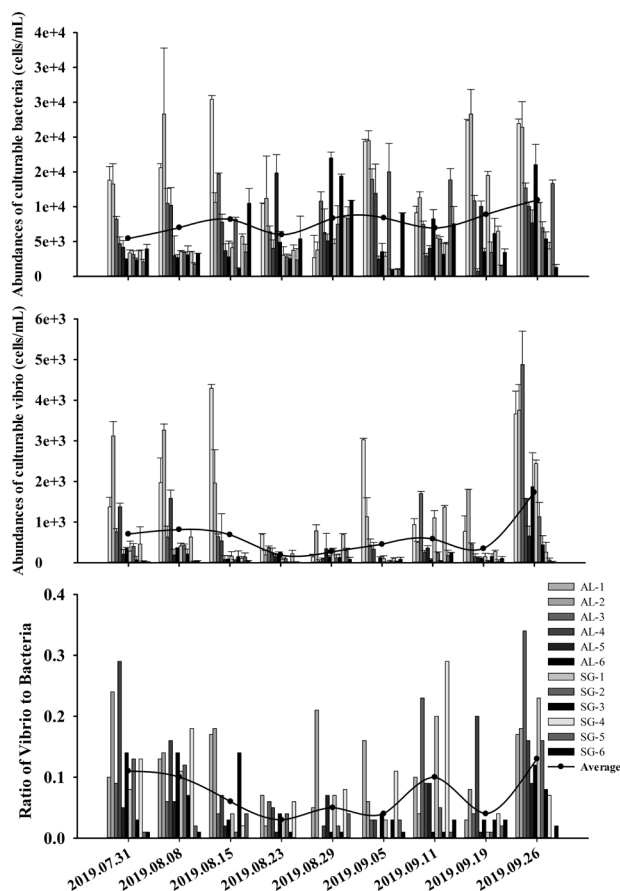
图3. 监测期间氨盐、硝酸盐、亚硝酸盐、总无机氮、磷酸盐、氮磷比变化



**Figure 4.** Total nitrogen,  $PO_4^{3-}$ , N/P during experiments  
**图 4.** 监测期间总无机氮、磷酸盐、氮磷比平均值变化

### 3.3. 可培养细菌和弧菌

在采样期间，可培养细菌、可培养弧菌及弧菌/细菌数量比的变化见图 5。可培养细菌的变化范围为 750~26900 cells/mL，平均值为 7934.39 cells/mL，低区的可培养细菌浓度相对最高，低区可培养细菌浓度 (10390.77 cells/mL) > 中区(6034.19 cells/mL)、高区(6362.04 cells/mL)，其中低区与中、高区差异显著 ( $p < 0.05$ )；可培养细菌浓度与台风发生无显著相关性，三次台风过境对其影响均不显著。



**Figure 5.** Abundances of culturable bacteria and vibrio, ratio of Vibrio to bacteria during experiments  
**图 5.** 监测期间可培养细菌、可培养弧菌、弧菌/细菌变化

可培养弧菌的变化范围为 5~4380 cells/mL, 平均值为 636.64 cells/mL, 低区的可培养弧菌浓度相对最高, 低区可培养弧菌浓度(1154.78 cells/mL) > 中区(322.00 cells/mL) > 高区(192.61 cells/mL), 其中低区与中、高区差异显著( $p < 0.05$ ); 可培养弧菌浓度与台风发生无显著相关性, 三次台风过境对其影响均不显著。

弧菌/细菌数量比(Ratio of vibrio to bacteria, V/B)的变化范围为 0.001~0.34, 平均值为 0.07, 低区的 V/B 值相对最高, 低区 V/B 值(0.11) > 中区(0.06) > 高区(0.04), 其中低区与中、高区差异显著( $p < 0.05$ ); V/B 值与台风发生无显著相关性, 三次台风过境对其影响均不显著。

### 3.4. 不同养殖区域比较

根据养殖品种不同, 将 12 个调查站位分为 4 个区域, 即贝参养殖区、贝藻养殖区、纯藻养殖区和无养殖区, 具体参数见表 3。通过单因素方差分析, 可发现部分参数在 4 个养殖区域间呈现显著差异,  $p < 0.05$ 。其中, 贝参养殖区(23.77°C)和无养殖区(24.25°C)的温度要显著高于贝藻养殖区(23.09°C)和纯藻养殖区(23.04°C); 贝参养殖区的透明度(416.81 cm)显著高于其他 3 个区域(平均 174.03 cm); 贝参养殖区(1.98 mg/L)和无养殖区(1.70 mg/L)的叶绿素浓度要显著高于贝藻养殖区(1.06 mg/L)和纯藻养殖区(1.13 mg/L); 无养殖区的氨盐(2.60 μM)、总氮(17.76 μM)显著高于贝藻养殖区(10.34 μM、13.52 μM), 与其他 2 个区域差异不显著; 贝参养殖区的可培养细菌丰度(15474.17 cells/mL)、可培养弧菌丰度(1853.89 cells/mL)、弧菌/细菌比值(0.12)均显著高于其他 3 个区域(平均值分别为 6504.5 cells/mL、390.71 cells/mL、0.06)。

**Table 3.** Averages of different parameters of four regions  
**表 3.** 调查海域不同区域平均值

Parameters	All	Shell and Sea cucumber	IMTA	Algae	None
Temperature ( °C)	23.47	23.77 <sup>a</sup>	23.09 <sup>b</sup>	23.04 <sup>b</sup>	24.25 <sup>a</sup>
Salinity (‰)	32.61	32.50	32.56	32.64	32.67
Transparency (cm)	211.38	416.81 <sup>a</sup>	191.74 <sup>b</sup>	158.75 <sup>b</sup>	171.61 <sup>b</sup>
pH	8.06	8.03	8.09	8.06	8.04
Dissolved Oxygen (mg/L)	8.09	8.30	8.11	8.10	7.92
Chla (ug/L)	1.39	1.98 <sup>a</sup>	1.06 <sup>b</sup>	1.13 <sup>b</sup>	1.70 <sup>a</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (μM)	2.16	2.09 <sup>ab</sup>	1.81 <sup>a</sup>	2.10 <sup>ab</sup>	2.60 <sup>b</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (μM)	11.79	11.22	10.34	11.96	13.11
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (μM)	1.58	1.46	1.36	1.42	2.05
TN (μM)	15.53	14.76 <sup>ab</sup>	13.52 <sup>a</sup>	15.48 <sup>ab</sup>	17.76 <sup>b</sup>
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (μM)	0.28	0.27	0.25	0.29	0.31
N/P	126.61	173.99	133.36	114.07	103.21
BA (cells/mL)	7879.34	15474.17 <sup>a</sup>	7849.07 <sup>b</sup>	5725.28 <sup>b</sup>	5938.69 <sup>b</sup>
VA (cells/mL)	629.74	1853.89 <sup>a</sup>	550.37 <sup>b</sup>	415.56 <sup>b</sup>	206.20 <sup>b</sup>
V/B	0.07	0.12 <sup>a</sup>	0.07 <sup>b</sup>	0.08 <sup>b</sup>	0.05 <sup>b</sup>

注: 不同字母代表差异显著。All, 所有站位; Shell and Sea cucumber, 贝参养殖区; IMTA, 贝藻养殖区; Algae, 纯藻养殖区; None, 无养殖区。

对不同区域的台风影响程度进行区别计算, 在所有参数中, 仅各个区域的 N/P 值影响值存在显著差异( $p < 0.05$ ), 台风对贝参养殖区(770.60)的提升作用要显著高于无养殖区(173.35), 与其他 2 个区域差异不显著。但在台风过境后, 贝参养殖区和无养殖区的氨盐、硝酸盐、亚硝酸和总氮影响均高于贝藻养殖区和藻类养殖区; 而磷酸盐的结果则相反。



## 4. 讨论

本文跟踪调查了三次台风,即超强台风利奇马(Lekima)(8月10~12日)、强台风玲玲(LINGLING)(9月7~8日)及强台风塔巴(TAPAH)(9月21~24日),对桑沟湾和爱莲湾海域产生的影响。调查结果表明台风过境对调查海域产生了显著影响。其中,营养盐的影响较为显著,三次台风过境将硝酸盐平均值提升了43.62%,利奇马台风过境将磷酸盐提高90.64%(玲玲和塔巴过境降低了磷酸盐浓度),N/P比平均值提升了144.73%。本文结果与已有的调查结果基本一致[2][3]。值得一提的是,在调查中,仅3个采样点(2.78%)的N/P值低于16,绝大部分远高于16,平均值高达126.17(图3、图4),这说明调查海域总氮严重超标,无机磷严重受限,N/P比值严重失衡,尤其低区(134.96)和中区(137.85),但也表明外海输入可能是调查海域重要的磷酸盐输入来源之一。这也与已有的大部分调查结果一致[9][10][11]。在三次台风过境后,营养盐浓度均显著提升,其中对无机氮的提升效果要显著高于无机磷,台风过后的N/P也显著提高。杜俊民等的调查结果也表明台风“碧利斯”显著提升了无机氮浓度,而对磷酸盐影响较小[2]。但在台风过境后的第二次采样中(约10d),N/P比均显著下降,而磷酸盐浓度在整个监测过程中呈现缓慢升高的趋势,至采样结束,相比最初采样点磷酸盐的浓度提升了410.00%,N/P比的平均值也降低为初始值的14.88%。综合说明,在调查海域,台风过境能够显著提高营养盐的浓度,在短时间内加剧了磷限制;后续N/P比的显著降低可能与台风引发的海水变化有关,但具体机制仍不明了。

一般认为,台风过境所引发的上升流能够促进浮游植物的生长[4][5][6][7][12]。除强台风玲玲过境后叶绿素浓度有所提升70.25%(但差异并不显著)外,超强台风利奇马和强台风塔巴的过境均显著降低了水体中叶绿素的含量(分别降低47.41%、81.52%, $p < 0.05$ )(图2),而且相关性分析的结果也支持叶绿素浓度与台风发生呈现极显著负相关( $p < 0.01$ )。这可能与江蓠的养殖有关,大型海藻具有超积累营养盐的能力,被称为“生物净化器”[13][14],杨红生等发现在围隔实验中江蓠对无机氮、无机磷的去除率高达80%以上[15]。调查时间正处于江蓠的快速生长期,江蓠在一定程度上竞争了N和P,不利于浮游植物的生长。此外,在调查期间,N/P值高达126.17,严重高于适宜浮游植物生长的16:1;并且25.92%的采样点磷酸盐浓度低于浮游植物生长的阈值(0.1  $\mu\text{M}$ )[16][17],说明极可能缺乏浮游植物生长所必需的磷酸盐。

按照养殖品种对采样站位划区分析,结果可发现养殖对象能够影响周围海水的水质和生物构成。其中,藻类养殖区(贝藻混养区和纯藻养殖区)的大部分营养盐浓度、叶绿素浓度均低于无藻养殖区(贝参养殖区和无养殖区),验证了藻类养殖具有“生物净化器”的作用,能够与浮游植物竞争营养盐,抑制后者生长[13][14][15]。台风过境后,无藻类养殖区的N/P值提升程度要显著高于藻类养殖区,无机氮的提升效果也要高于其他区域(差异不显著)。这可能与藻类对水流的阻挡作用有关,浮筏本身会影响水体流动,而大型藻类的养殖则会加剧水流的不通畅[18],减缓了引台风引起的上升流运动等[7]。此外,大型藻类对无机盐的去除作用相对较为迅速,可在24h内去除环境中64.2%~97.1%的无机氮[19],而本文的调查是在台风平息(2~3d)后,这也可能导致结果的不准确性,具体仍有待进一步的深入研究。

## 5. 小结

1) 相比过境前,三次台风过境将硝酸盐浓度平均提升了43.62%,对磷酸盐的影响不一致,将N/P比平均提升了144.73%,短时间内加剧了磷限制现象。

2) 利奇马和塔巴的过境分别将水体中叶绿素的含量显著降低了47.41%、81.52%,统计学分析表明台风发生与叶绿素浓度呈现极显著负相关( $p < 0.01$ )。

3) 养殖对象能够影响养殖区的水质和生物构成,藻类养殖区的营养盐浓度、叶绿素浓度低于无藻养殖区;台风过境后,无藻类养殖区的N/P值提升程度要高于藻类养殖区。

## 基金项目

由国家藻类产业技术体系经费支持。

## 参考文献

- [1] Price, J.F. (1981) Upper Ocean Response to a Hurricane. *Journal of Physical Oceanography*, **11**, 153-175. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1981\)011<0153:UORTAH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1981)011<0153:UORTAH>2.0.CO;2)
- [2] 杜俊民, 陈立奇, 张远辉, 等. 台风“碧利斯”在厦门海域的酸沉降特征及其氮、磷营养盐对海洋的输入评估[J]. 台湾海峡, 2008, 27(3): 339-346.
- [3] 王腾, 刘广鹏, 赵世焯, 等. 台风事件对闽江口上游营养盐和有机碳含量及通量的影响[J]. 应用海洋学报, 2016(1): 38-46.
- [4] Babin, S.M., Carton, J.A., Dickey, T.D. and Wiggert, J.D. (2004) Satellite Evidence of Hurricane-Induced Phytoplankton Blooms in an Oceanic Desert. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **109**. <https://doi.org/10.1029/2003JC001938>
- [5] Miller, W.D., Harding Jr., L.W. and Adolf, J.E. (2006) Hurricane Isabel Generated an Unusual Fall Bloom in Chesapeake Bay. *Geophysical Research Letters*, **33**, L06612. <https://doi.org/10.1029/2005GL025658>
- [6] Shi, W. and Wang, M. (2007) Observations of a Hurricane Katrina-Induced Phytoplankton Bloom in the Gulf of Mexico. *Geophysical Research Letters*, **34**, L11607. <https://doi.org/10.1029/2007GL029724>
- [7] 付东洋, 潘德炉, 丁又专, 等. 台风对海洋叶绿素 a 浓度影响的定量遥感初探[J]. 海洋学报(中文版), 2009, 31(3): 46-56.
- [8] Son, S.H., Platt, T., Bouman, H. and Lee, D.K. (2006) Satellite Observation of Chlorophyll and Nutrients Increase Induced by Typhoon Megi in the Japan/East Sea. *Geophysical Research Letters*, **33**, L05607. <https://doi.org/10.1029/2005GL025065>
- [9] 武晋宣. 桑沟湾养殖海域氮、磷收支及环境容量模型[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- [10] 孙珊, 刘素美, 任景玲, 等. 桑沟湾养殖海域营养盐和沉积物-水界面扩散通量研究[J]. 海洋学报, 2010, 32(6): 108-117.
- [11] 徐东会, 陈碧鹃, 江涛, 等. 桑沟湾养殖海域营养盐时空分布特征及富营养化评价[J]. 渔业科学进展, 2017, 38(3): 1-11.
- [12] Lin, I., Liu, W.T., Wu, C.C., et al. (2003) New Evidence for Enhanced Ocean Primary Production Triggered by Tropical Cyclone. *Geophysical Research Letters*, **30**, 1-4. <https://doi.org/10.1029/2003GL017141>
- [13] 胡海燕, 卢继武, 杨红生. 大型藻类对海水鱼类养殖水体的生态调控[J]. 海洋科学, 2003, 27(2): 19-21.
- [14] 杨宇峰, 费修纛. 大型海藻对富营养化海水养殖区生物修复的研究与展望[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2003, 33(1): 53-57.
- [15] 杨红生, 毛玉泽, 周毅. 江蓠在桑沟湾滤食性贝类养殖海区的生态作用[Z]. 海洋与湖沼(专辑), 2003: 121-127.
- [16] Justić, D., Rabalais, N.N. and Turner, R.E. (1995) Stoichiometric Nutrient Balance and Origin of Coastal Eutrophication. *Marine Pollution Bulletin*, **30**, 41-46. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(94\)00105-I](https://doi.org/10.1016/0025-326X(94)00105-I)
- [17] 张均顺, 沈志良. 胶州湾营养盐结构变化的研究[J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(5): 529-535.
- [18] 胡园, 张涛, 蔡景波, 等. 养殖密度, 水层, 规格对浅海筏架吊笼养殖刺参生长的影响[J]. 浙江农业学报, 2018, 30(4): 548-553.
- [19] 毛玉泽, 李加琦, 薛素燕, 等. 海带养殖在桑沟湾多营养层次综合养殖系统中的生态功能[J]. 生态学报, 2018, 38(9): 3230-3237.