

台山核电邻近海域春秋季节浮游植物群落结构特征

粟 丽, 黄梓荣, 徐珊楠, 陈作志

(中国水产科学研究院 南海水产研究所, 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东 广州 510300)

摘要: 根据 2013 年 4 月(春季)和 9 月(秋季)2 个航次调查数据, 对台山核电邻近海域浮游植物种类组成、时空分布及多样性指数等群落特征进行了分析。共鉴定浮游植物 3 门 61 种, 其中硅藻类 48 种, 占 78.69%; 甲藻类 11 种, 占 18.03%; 金藻类 2 种, 占 3.28%。种类组成以暖水种和广温种为主。浮游植物丰度均值春季(11.78×10^7 个/ m^3)与秋季(29.37×10^7 个/ m^3)无明显差异; 然而丰度水平变化较大, 整体表现为春秋两季核电站温排水口附近站位均低于远离站位。春秋两季浮游植物优势种共出现了 7 种, 春季仅出现了中肋骨条藻 *Skeletonema costatum* 1 种, 优势度高达 0.996; 秋季出现了 7 种, 包括中肋骨条藻 (0.291)、柔弱拟菱形藻 *Pseudo-nitzschia delicatissima* (0.222)、拟弯角毛藻 *Chaetoceros pseudocurvisetus* (0.214) 和并基角毛藻 *Chaetoceros decipiens* (0.056) 等。海域春季 Shannon-Wiener 多样性指数 H' 、Pielou 均匀度指数 J' 和 Margalef 物种丰富度指数 D 均值分别为 0.55、0.18 和 0.50; 秋季分别为 2.80、0.62 和 0.80。多样性指数显示台山核电附近海域水质状态受到了一定程度的污染。

关键词: 浮游植物; 群落结构; 生物多样性; 核电厂; 台山

中图分类号: Q948.885 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)09-0061-08
doi: 10.11759/hyqx20150626001

台山核电厂位于珠江八大尾间之一的崖门和虎跳门出口黄茅海西侧出海口, 地理位置为 $112^{\circ}59'E$, $21^{\circ}54'N$ 。核电厂对海域生态系统的影响主要有两个方面, 一是通过冷却水加氯和冷却装置的卷载效应影响, 二是通过温排水排放海域温升对周围水生生物的热冲击影响。近年来电厂温排水对环境的影响广受关注^[1-4]。有研究发现核电站温排水对海域整体生态功能产生一定的影响^[5]。朱鹏利^[6]发现核电邻近海域 $2^{\circ}C$ 温升包络面积范围内, 浮游动物的种类和数量减少, 群落的物种多样性降低。

海洋浮游植物是海洋最重要的初级生产者, 其群落特征直接或间接地制约着海洋生产力的发展, 对海洋生态系统物质循环和能量流动起着关键的作用。不同的浮游植物群落结构决定了其在生态系统中的功能差异。浮游植物群落在环境改变时可以灵敏且迅速地反映环境的变化^[7], 各种环境因子的变化会引起浮游植物种类组成和生物量的变化, 同时, 浮游植物群落的改变也会直接或间接地对海洋环境造成影响^[8]。目前关于中国近岸海域浮游植物群落结构已有大量研究^[9-12], 核电站邻近海域浮游植物群落的研究也有一些报道^[13-14], 但台山核电站邻近海域浮游植物群落结构特征的研究尚未见报道。本文对该海域浮游植物群落结构进行了调查研究, 一方

面了解该海域浮游植物群落结构和水质状态, 另一方面为核电站等重大工程建设项目对海域环境影响评价及生态环境保护措施的制订提供基础资料。

1 材料与方 法

1.1 采样时间与站位

两个航次分别于 2013 年 4 月(春季)和 9 月(秋季)使用渔船进行浮游植物样品采集, 浮游植物调查共设置 8 个站位, 其编号为 S1~S8, 其中 S1~S4 为排水口附近站位, S5~S6 为进水口附近站位 S7~S8 为远离排水口和进水口站位(图 1), 调查海域水深为 3~11 m。

1.2 样品的采集与分析

浮游植物样品采集与定量参照《海洋调查规范 海洋生物调查》^[15]进行。样品用 25 号浮游生物网采

收稿日期: 2015-06-26; 修回日期: 2016-04-01

基金项目: 农业部财政专项(20141005); 公益性行业(农业)科研专项(201403008)

[Foundation: Agriculture Department Special Financial Project, No.20141005; Public Welfare Industry (Agriculture) Research Project, No.201403008]

作者简介: 粟丽(1985-), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向: 海洋浮游植物生态研究, E-mail: suli@scsfri.ac.cn; 陈作志, 通信作者, 男, 副研究员, 研究方向: 海洋渔业资源管理和资源生态研究, E-mail: zzchen2000@163.com

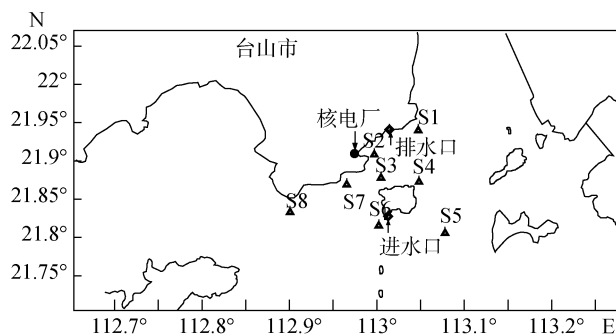


图1 台山海域采样站位示意图

Fig. 1 Map of sampling stations in the Taishan Sea

集,自海底(离底部 0.5 m)向海面垂直拖曳,用鲁哥氏液现场固定,经 48 h 沉淀浓缩,用 0.1 mL 浮游植物计数框在光学显微镜下进行计数和鉴定。

1.3 分析方法与计算公式

运用 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Margalef 物种丰富度指数及浮游植物优势度对浮游植物群落结构特征和水质状态进行初步评价。

Shannon-Wiener 多样性指数(H')计算公式为

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

式中, P_i 为第 i 种的个体数与总个体数的比值; S 为浮游植物种类数。 H' 值越大,水质越清洁(0 为严重污染; 0~1 为重污染; 1~2 为中污染; 2~3 为轻污染; 大于 3 为清洁)^[16]。

Pielou 均匀度指数(J')计算公式为

$$J' = H' / \log_2 S \quad (2)$$

式中, H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数; S 为浮游植物种类数。 J' 值越大,水质越清洁(0~0.3 为重污染; 0.3~0.5 为中污染; 0.5~0.8 为轻污染或无污染)^[17]。

Margalef 物种丰富度指数(D)计算公式为

$$D = (S-1) / \log_2 N \quad (3)$$

式中, S 为浮游植物种类数; N 为个体数。 D 值越大,水质越清洁(0~1 为重度污染; 1~2 为严重污染; 2~4 为中度污染; 4~6 为轻度污染; 大于 6 为清洁)^[18]。

种类优势度指数(Y)计算公式为

$$Y = (N_i / N) f_i \quad (4)$$

式中, N_i 为第 i 种的个体数; N 为每个站的总个体数; f_i 为第 i 种在各站位中出现的频度, $Y > 0.02$ 为优势种^[19]。

2 结果与分析

2.1 浮游植物种类组成

两个航次共鉴定浮游植物 3 门 61 种(含变种、变型及个别未定种的属),春季出现 37 种,秋季 38 种,其中硅藻类 48 种,占种类组成的 78.69%; 甲藻类 11 种,占种类组成的 18.03%; 金藻类 2 种,占 3.28%。种类组成以暖水种和广温种为主。该海域浮游植物以硅藻类为主导。

春季调查站位浮游植物平均种丰富度为 13 种,各个站位之间相差较大,最高为 S5 站位,出现了 23 种,最低为 S6 站位,仅 6 种。秋季平均种丰富度为 23 种,各站位种类数相差不大,最高为 S7 站位(25 种),最低为 S1 站位(20 种)。

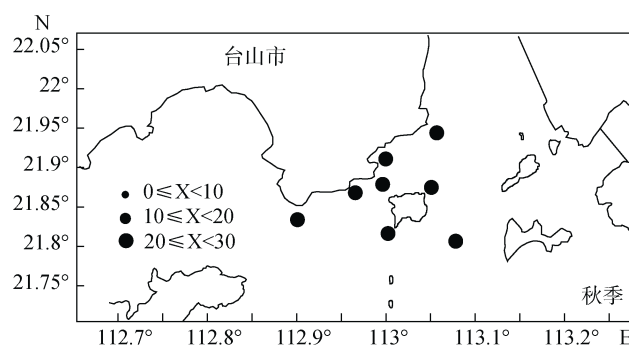
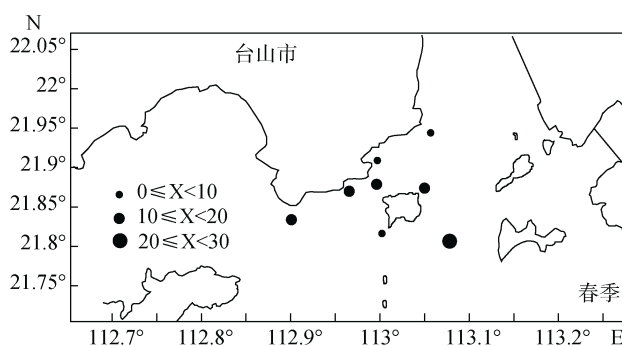


图2 台山海域浮游植物种类数水平分布

Fig. 2 Horizontal distribution of phytoplankton species in the Taishan Sea

2.2 浮游植物细胞丰度时空变化

2.2.1 季节变化

两个季节浮游植物细胞丰度变化较大,见图 3。春季浮游植物细胞丰度为 $0.005 \times 10^7 \sim 37.602 \times 10^7$ 个/ m^3 ,平均为 11.178×10^7 个/ m^3 。秋季浮游植物细胞丰度为

$6.185 \times 10^7 \sim 99.907 \times 10^7$ 个/ m^3 ,平均为 29.374×10^7 个/ m^3 。秋季细胞丰度平均是春季的 2.6 倍。

2.2.2 水平分布

从图 3 可以看出两个季节浮游植物丰度的水平分布存在差异。春季浮游植物细胞丰度整体表现出

S4 和 S5 两个站位最高, 其次为 S6、S7 和 S8 三个站位, 最低为 S1、S2 和 S3 三个站位。各站位中细胞丰度最高的为 S4(37.602×10^7 个/ m^3), 最低为 S1(0.005×10^7 个/ m^3), 最高站位是最低站位的 6861.7 倍, 站位之间细胞丰度差异较大。秋季则表现出 S5、S6、S7

和 S8 四个站位高于 S1、S2、S3 和 S4 四个站位。各站位中 S5(99.907×10^7 个/ m^3)最高, S1(6.185×10^7 个/ m^3)最低, 最高站位为最低站位的 16.2 倍。8 个站位中除了 S4 站位表现出春季高于秋季外, 其他各站位均表现出秋季高于春季。

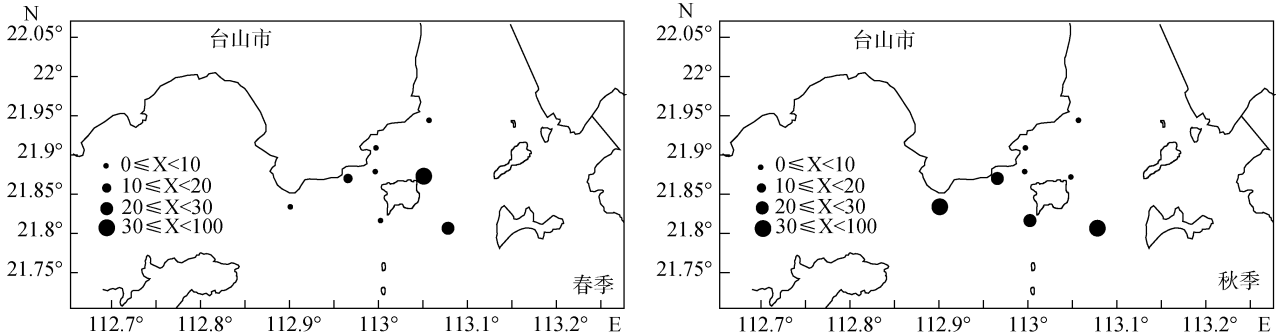


图3 台山海域浮游植物细胞丰度水平分布($\times 10^7$ 个/ m^3)
Fig. 3 Horizontal distribution of phytoplankton abundance in the Taishan Sea ($\times 10^7$ cells/ m^3)

2.3 浮游植物优势种的组成及季节变化

2.3.1 优势种组成及季节变化

以优势度 Y 大于 0.02 为判断标准, 本次调查海域浮游植物优势种出现了 7 种(表 1), 两个季节优势种差异较大, 有明显的季节更替。其中春季仅出现了 1 种优势种中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*), 优势

度极高, 高达 0.996。秋季优势种相对较多出现了 7 种, 包括中肋骨条藻、柔弱拟菱形藻(*Pseudo-nitzschia delicatissima*)、拟弯角毛藻(*Chaetoceros pseudocurvisetus*)和并基角毛藻(*Chaetoceros decipiens*)等, 优势度最高为 0.291。两个季节整体表现出秋季优势种多于春季, 而优势度低于春季的现象。

表 1 台山海域浮游植物优势种组成

Tab. 1 Dominant species composition of phytoplankton in the Taishan Sea

春季		秋季	
种名	优势度	种名	优势度
中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	0.996	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	0.291
		柔弱拟菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	0.222
		拟弯角毛藻 <i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	0.214
		并基角毛藻 <i>Chaetoceros decipiens</i>	0.056
		细弱角毛藻 <i>Chaetoceros subtilis</i>	0.050
		旋链角毛藻 <i>Chaetoceros curvisetus</i>	0.049
		拟须状角毛藻 <i>Chaetoceros pseudocrinitus</i>	0.020

2.3.2 优势种中肋骨条藻丰度变化

中肋骨条藻是一种近岸海域分布极广的浮游硅藻。调查期间中肋骨条藻的丰度为 $1.26 \times 10^4 \sim 44.33 \times 10^7$ 个/ m^3 , 平均 9.84×10^7 个/ m^3 。春季为 $1.26 \times 10^4 \sim 37.58 \times 10^7$ 个/ m^3 , 平均为 11.14×10^7 个/ m^3 ; 秋季为 $0.6 \times 10^7 \sim 44.33 \times 10^7$ 个/ m^3 , 平均为 8.54×10^7 个/ m^3 。其中春季各站位中肋骨条藻丰度相差较大, 大于 5×10^6 个/ m^3 的站位有 S4、S5、S6、S7 和 S8, 根据安达六郎^[20]提出的赤潮判断标准($>5 \times 10^6$ 个/ m^3),

该 5 个站位已达到了中肋骨条藻赤潮标准; 秋季各站位丰度相差较小, 8 个站位均大于 5×10^6 个/ m^3 , 表明秋季中肋骨条藻赤潮比春季严重。

2.4 浮游植物物种多样性的时空变化

2.4.1 季节变化

台山海域两个季节多样性指数 H' 相差较大, 其中春季为 0.007~2.70, 均值为 0.55; 秋季波动范围为 2.57~3.08, 均值为 2.80, 秋季多样指数高于春季, 平

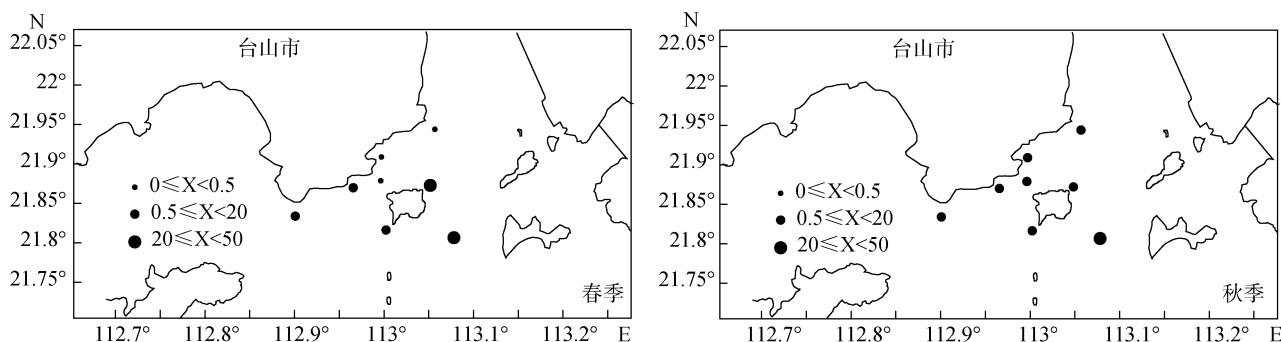


图4 台山海域中肋骨条藻细胞丰度水平分布($\times 10^7$ 个/ m^3)

Fig. 4 Horizontal distribution of *Skeletonema costatum* abundance in the Taishan sea ($\times 10^7$ 个/ m^3)

均为春季的5倍。均匀度指数 J 值春季为 0.002~0.89, 均值为 0.18; 秋季为 0.58~0.68, 均值为 0.62, 秋季均匀度指数高于春季。物种丰富度指数为 0.27~0.87, 秋季高于春季。

2.4.2 水平变化

春秋两季台山海域各站位浮游植物多样性指数波

动范围为 0.007~3.08, 春季最高站位为 S1(2.70), 最低为 S4(0.007), 秋季则最高站位为 S4(3.08), 最低为 S5(2.57)。各站位均匀度指数为 0.002~0.89, 变化趋势与多样性指数相似。物种丰富度指数春季最高值为 S5, 最低为 S3; 秋季最高值为 S3, 最低为 S5。3 个指数均表现出春季最低值站位秋季则转变为最高值站位。

表2 台山海域浮游植物多样性指数、均匀度指数和丰富度指数

Tab. 2 The diversity, evenness, and richness indexes of phytoplankton in the Taishan Sea

指数	季节	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	均值
H'	春季	2.7	0.39	0.11	0.007	0.04	0.88	0.05	0.2	0.55
	秋季	2.81	2.96	2.68	3.08	2.57	2.79	2.77	2.75	2.80
	平均	2.76	1.68	1.40	1.54	1.31	1.84	1.41	1.48	1.67
J'	春季	0.89	0.13	0.03	0.002	0.009	0.34	0.01	0.04	0.18
	秋季	0.65	0.66	0.58	0.68	0.58	0.62	0.6	0.61	0.62
	平均	0.77	0.40	0.31	0.34	0.29	0.48	0.31	0.33	0.40
D	春季	0.44	0.41	0.27	0.35	0.82	0.38	0.56	0.80	0.50
	秋季	0.73	0.83	0.87	0.83	0.70	0.78	0.86	0.77	0.80
	平均	0.59	0.62	0.57	0.59	0.76	0.58	0.71	0.79	0.65

3 讨论

3.1 台山核电邻近海域浮游植物群落结构特征

台山核电邻近海域地处亚热带, 海洋性气候较为明显, 全年气候温和, 适宜沿岸暖水性广温性种类的生长。本次调查海域鉴定出的浮游植物种类 78.69% 为硅藻, 其平均丰度百分比高达 99.97%。表明该海域浮游植物群落结构以硅藻类为主导, 甲藻和金藻类仅零星出现。硅藻类中又以中肋骨条藻、柔弱拟菱形藻、拟弯角毛藻、并基角毛藻、细弱角毛藻、旋链角毛藻和拟须状角毛藻等占优势, 这些种类不仅细胞数量丰富, 出现频率也很高。群落结构总

体表现出优势种单一, 优势度高的特点, 特别是春季优势种仅中肋骨条藻一种, 优势度极高, 群落结构极不稳定。与邻近海域(高栏港西侧海域)相比, 两个邻近海域浮游植物群落结构有着不同的特征, 高栏西侧海域浮游植物丰度为 229.61×10^4 个/ m^3 , 丰度以甲藻占优势, 占总丰度的 59.21%, 其次才为硅藻, 占 38.82%, 春季以中肋骨条藻(0.37)为第一优势种, 秋季则以夜光藻(0.45)为优势种^[21]。与其他海域比较, 台山核电海域与深圳海域^[22]、珠江口海域^[23]均以硅藻类为主导, 但优势种及优势度各不相同, 优势种特征有着明显的地域差异性。

3.2 浮游植物物种多样性分析

浮游植物的多样性与海域生态系统的稳定性有

着密切的关系。孙军^[24]等研究发现 Shannon-Weaver 多样性指数和 Pielou 均匀度指数对浮游植物多样性分析和均匀度测度有较好的解释。整体来说,本次调查台山海域多样指数(1.67)和均匀度(0.40)水平均属较低水平,根据物种多样性指数水质状态评价标准得出,台山海域水质状态属于中度污染状态。两个季节之间有较大差异,春季属于重度污染,秋季则属于轻度污染。该海域多样性指数秋季是春季的 5 倍,表明浮游植物群落结构秋季比春季稳定,分布也较春季均匀。这可能是由于春季广温种类中肋骨条藻大量繁殖,而其他藻类生长繁殖较缓慢,丰度远远少于中肋骨条藻,从而导致春季物种多样性低;秋季可能由于环境因子的改变,其他暖水性藻类生长加快,从而降低了中肋骨条藻优势度,提高了物种多样性。与邻近海域相比,本海域多样性和均匀度均分别低于高栏西侧海域(2.94, 0.64)^[21]。与其他核电站邻近海域相比,本海域较阳江核电邻近海域浮游植物多样性低^[25]。

3.3 核电站对邻近海域浮游植物的影响

由于核电厂的热效率很低,厂址多建于滨海,常采用冷却温水直接排入海域的一次循环冷却方式。然而,冷却温水直接排入海域往往会对环境产生一定的影响,成为热电厂主要的水污染问题^[26]。本次调查,比较了电厂进水口和排水口及周边邻近站位之间浮游植物细胞丰度的差异,发现春秋两季排水口附近站位水体中细胞丰度均值均低于其他远离站位;这与 Poornima 等^[27]的研究结果一致。出现这种现象可能是由于海水经过冷却装置时浮游植物细胞在机械卷载、高温高压和余氯的作用下受到破坏,部分浮游植物细胞可能损伤或死亡,从而导致该排水口附近浮游植物丰度较入水口低。Poornima 等^[27]发现化学作用和热冲击均能减少浮游植物的生物量,其中加氯为浮游植物减少的主要因子。江志兵^[28]等的研究同样发现热冲击和加氯均显著影响浮游植物细胞数量的恢复,热冲击还能增强余氯对浮游植物的毒性,同时自然水温越高、升温幅度越大,浮游植物细胞数量恢复则越慢。也有研究与笔者调查结果不一致的,唐森铭等^[14]对大亚湾核电厂海域浮游植物的调查结果发现排水口水体中的细胞丰度均值总是高于进水口。这可能是由于两个海域其水文条件、开阔程度及营养状况等有所不同,从而产生不同结果。温排水还可能对邻近海域浮游植物的多样性产生一定的影响。本次调查发现浮游植物多样性指数

与均匀度指数排水口附近站位均值分别为(1.84, 0.45)稍高于远离站位(1.50, 0.35)。这与唐森铭^[14]等的研究结果相似。核电站的温排水还可能对浮游植物的种类组成产生影响。刘胜^[13]等对大亚湾核电站对海湾浮游植物群落影响的研究中发现核电站运行后,浮游植物种类逐渐减少,甲藻与暖水性种类的数量有增多的趋势,群落组成有小型化趋向; Rajadurai 等^[29]实验也发现不同藻类对热冲击的反应不同,其中双眉藻(*Amphora coffeaeformis*)在实验温度范围内均成为优势。

4 结语

本次调查海域浮游植物以沿岸暖水性与广温性种类为主。春秋两季种类组成表现出优势种单一优势度高的特点;春季以中肋骨条藻为绝对优势种,优势特征十分突出;秋季以中肋骨条藻为第一优势种,优势特征也较明显;两季中肋骨条藻细胞丰度有过半站位高于 5×10^6 个/ m^3 ,达到了中肋骨条藻赤潮标准。浮游植物多样性和均匀度均属较低水平。

总体来说,本海域浮游植物多样性属较低水平,表明本海域生态系统脆弱,生态环境较差,应注重加强生态环境保护。核电的温排水、加氯等操作不可避免的会对邻近海域生态环境造成影响。为提高邻近海域环境质量,要严格规范核电站的各项操作,尽量减小对海域生态环境的影响。同时,还应加强该海域的长期监测,防止赤潮大规模暴发。

参考文献:

- [1] Kowalski E, Mazierski J. Effects of cooling water discharges from a power plant on reservoir water quality[J]. International Journal of Oceanography and Hydrobiology, 2008, 37(2): 107-118.
- [2] 朱晓翔, 刘建琳, 王凤英. 核电站温排水环境影响研究方法调查评价[J]. 电力科技与环保, 2010, 26(1): 8-10.
Zhu Xiaoxiang, Liu Jianlin, Wang Fengying. Investigation and evaluation of studies on the thermal discharge from Nuclear Power Plant[J]. Electric Power Technology and Environmental Protection, 2010, 26(1): 8-10.
- [3] 张晓峰. 核电厂温排水环境影响评价及减缓措施[J]. 海洋技术, 2010, 29(4): 38-43.
Zhang Xiaofeng. Assessment and mitigation to the environmental impact of thermal discharge from Nuclear Power Plants[J]. Ocean Technology, 2010, 29(4): 38-43.
- [4] 孙艳涛, 吴修锋, 王惠民. 温排水对水体环境影响的

- 数值模拟[J]. 电力环境保护, 2008, 24(1): 42-45.
Sun Yantao, Wu Xiufeng, Wang Huimin. Numerical simulation of thermal discharge on water environmental impact[J]. Electric Power Environmental Protection, 2008, 24(1): 42-45.
- [5] 刘永叶, 张永兴, 陈晓秋, 等. 台山核电站温排水混合区的设置对厂址海域整体生态功能的影响强度评估[J]. 中国原子能科学研究院年报, 2009, (0): 460.
Liu Yongye, Zhang Yongxing, Chen Xiaoqi, et al. Assessment the effect of warm drainage mixed area setting on whole marine ecological function of Taishan nuclear power[J]. Annual Report of China Institute of Atomic Energy, 2009, (0): 460.
- [6] 朱鹏利. 台山核电工程温排水对海洋环境影响预测[D]. 中国海洋大学, 2008.
Zhu Pengli. Forecasting the environmental effect on draining water to marine environment of the Taishan nuclear power[D]. Ocean University of China, 2008.
- [7] 孙军, 刘东艳, 王威, 等. 1998 年秋季渤海中部及其邻近海域的网采浮游植物群落[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1644-1656.
Sun Jun, Liu Dongyan, Wang Wei, et al. The netz-phytoplankton community of the central Bohai Sea and its adjacent waters in autumn, 1998[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(8): 1644-1656.
- [8] Sanna S, Maria L, Maija H. Long-term changes in summer phytoplankton communities of the open northern Baltic Sea[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 71(3/4): 580-592.
- [9] 孙晓庆, 董树刚, 汤志宏. 营养盐和光照对浮游植物群落结构的影响[J]. 南方水产, 2008, 4(1): 1-9.
Sun Xiaoqing, Dong Shugang, Tang Zhihong. Influences of nutrients and illuminance on phytoplankton community structure[J]. South China Fisheries, 2008, 4(1): 1-9.
- [10] 陈明超, 章守宇. 枸杞岛海域浮游植物群落结构分析[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(4): 607-611.
Chen Mingchao, Zhang Shouyu. The community structure of phytoplankton in Gouqi Island[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(4): 607-611.
- [11] 廖秀丽, 陈丕茂, 马胜伟, 等. 大亚湾杨梅坑海域投礁前后浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 南方水产科学, 2013, 9(5): 109-119.
Liao Xiuli, Chen Pimao, Ma Shengwei, et al. Community structure of phytoplankton and its relationship with environmental factors before and after construction of artificial reefs in Yangmeikeng, Daya Bay[J]. South China Fisheries Science, 2013, 9(5): 109-119.
- [12] 张晓举, 温若冰, 于海洋, 等. 黄骅海域浮游植物群落结构的季节变化[J]. 海洋科学进展, 2013, 31(2): 221-228.
Zhang Xiaojun, Wen Ruobing, Yu Haiyang, et al. Seasonal changes of the phytoplankton community structure in the Huanghua Waters[J]. Advances in Marine Science, 2013, 31(2): 221-228.
- [13] 刘胜, 黄晖, 黄良民, 等. 大亚湾核电站对海湾浮游植物群落的生态效应[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(2): 9-12, 25.
Liu Sheng, Huang Hui, Huang Liangmin, et al. Ecological response of phytoplankton to the operation of Daya Bay nuclear power station[J]. Marine Environmental Science, 2006, 25(2): 9-12, 25.
- [14] 唐森铭, 严岩, 陈彬, 等. 春夏季大亚湾核电厂温排水对海洋浮游植物群落结构的影响[J]. 应用海洋学学报, 2013, 32(3): 373-381.
Tang Senming, Yan Yan, Chen Bin, et al. Impacts of thermal effluent on the phytoplankton community structures nearby Dayawan Nuclear Power Station in spring and summer[J]. Journal of Applied Oceanography, 2013, 32(3): 373-381.
- [15] 国家海洋局. 海洋调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007, 1-168.
State Oceanic Administration. Specifications for oceanographic survey[S]. Beijing: China Standards Press, 2007, 1-168.
- [16] 刘雪花, 赵秀侠, 高攀, 等. 安徽菜子湖浮游植物群落结构的周年变化(2010 年)[J]. 湖泊科学, 2012, 24(5): 771-779.
Liu Xuehua, Zhao Xiuxia, Gao Pan, et al. Annual dynamics of phytoplankton abundance and community structure (2010) in Lake Caizi, Anhui Province[J]. Journal of Lake Science, 2012, 24(5): 771-779.
- [17] 胡韧, 林彰文, 韩博平, 等. 大型热带水库-松涛水库枯水期浮游植物群落特征[J]. 生态科学, 2004, 23(4): 315-319.
Hu Ren, Lin Zhangwen, Han Boping, et al. Phytoplankton distribution in a tropical reservoir (Songtao reservoir) in dry season of 2003[J]. Ecologic Science, 2004, 23(4): 315-319.
- [18] 刘耕彤, 何文辉, 张慧, 等. 立体复合生态操纵水体浮游植物群落结构特征及水质评价[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(2): 253-259.
Liu Gongtong, He Wenhui, Zhang Hui, et al. Characteristics of phytoplankton community structure and evaluation of water quality of multi-restoration ecological waterbody[J]. Journal of Shanghai University, 2013, 22(2): 253-259.
- [19] 张婷, 李林, 宋立荣. 熊河水库浮游植物群落结构的周年变化[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 2971-2979.
Zhang Ting, Li Lin, Song Lirong. Annual dynamics of phytoplankton abundance and community structure in the Xionghe Reservoir[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009,

- 29(6): 2971-2979.
- [20] 安达六郎. 赤潮生物と赤潮生态[J]. 水产土木(日本), 1973, 9(1): 31-36.
Anda Rokurou. Red tide organisms and red tide ecology[J]. Fishries Engineering (Japan), 1973, 9(1): 31-36.
- [21] 英晓明, 贾后磊, 冉娟, 等. 珠海高栏港西侧海域浮游植物现状调查与评价[J]. 人民珠江, 2013, 3: 16-19.
Ying Xiaoming, Jia Houlei, Ran Juan, et al. Actuality survey and assessment of marine phytoplankton in the western sea area of Gaolan Port, Zhuhai[J]. Pearl River, 2013, 3: 16-19.
- [22] 张冬鹏, 黎晓涛, 黄远峰, 等. 深圳沿海浮游植物组成及赤潮发生趋势分析[J]. 暨南大学(自然科学版), 2001, 22(5): 122-126.
Zhang Dongpeng, Li Xiaotao, Huang Yuanfeng, et al. Composition of phytoplankton on the coasts of Shenzhen and the development tendency of red tide[J]. Journal of Jinan University (Natural Science), 2001, 22(5): 122-126.
- [23] 戴明, 李纯厚, 贾晓平, 等. 珠江口近海浮游植物生态特征研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1389-1394.
Dai Ming, Li Chunhou, Jia Xiaoping, et al. Ecological characteristics of phytoplankton in coastal area of Pearl River estuary[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(8): 1389-1394.
- [24] 孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报, 2004, 26(1): 62-75.
Sun Jun, Liu Dongyan. The application of diversity indices in marine phytoplankton studies[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(1): 62-75.
- [25] 王雨, 林茂, 陈兴群, 等. 阳江核电站邻近水域浮游植物群落结构及其季节变化[J]. 生态学杂志, 2012, 31(2): 348-358.
Wang Yu, Lin Mao, Chen Xingqun, et al. Community structure and its seasonal variation of phytoplankton in adjacent waters of Yangjiang Nuclear Power Plant[J]. Journal of Ecology, 2012, 31(2): 348-358.
- [26] 孙秀敏, 张令戈. 热电厂温排水排海环境影响预测方法及应用[J]. 辽宁城乡环境科技, 2001, 21(1): 30-31.
Sun Xiumin, Zhang Lingge. Forecasting methods and applications the environmental effect on draining water to marine environment of the thermal power plant[J]. Liaoning Urban and Rural Environmental Science & Technology, 2001, 21(1): 30-31.
- [27] Poornima E H, Rajadurai M, Rao V N R, et al. Use of coastal waters as condenser coolant in electric power plants: Impact on phytoplankton and primary productivity[J]. Journal of Thermal Biology, 2006, 31(7): 556-564.
- [28] 江志兵, 曾江宁, 陈全震, 等. 热冲击和加氯后亚热带海区浮游植物细胞数量的动态变化[J]. 植物生态学报, 2008, 32(6): 1386-1396.
Jiang Zhibing, Zeng Jiangning, Chen Quanzhen, et al. Dynamic change of phytoplankton cell density after thermal shock and chlorination in a subtropical Bay in China[J]. Journal of Plant Ecology, 2008, 32(6): 1386-1396.
- [29] Rajadurai M, Poornima E H, Narasimhan S V, et al. Phytoplankton growth under temperature stress: Laboratory studies using two diatoms from a tropical coastal power station site[J]. Journal of Thermal Biology, 2005, 30(4): 299-305.

Characteristics of the phytoplankton community in spring and autumn in the sea area around the Taishan Nuclear Power Plant, China

SU Li, HUANG Zi-rong, XU Shan-nan, CHEN Zuo-zhi

(South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory of south China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture, P.R. China, Guangzhou 510300, China)

Received: Jun.26, 2015

Key words: phytoplankton; community structure; biodiversity; nuclear power plant; Taishan

Abstract: On the basis of the data from two phytoplankton surveys conducted in April 2013 and September 2013 in the Taishan Sea, the species composition, spatial and temporal distribution, and diversity of phytoplankton were analyzed. A total of 61 phytoplankton species were identified belonging to three phyla. Forty-eight species of Bacillariophyta, 11 species of Pyrrophyta, and 2 species of Chrysophyta accounted for 78.69%, 18.03%, and 3.28% of the total species, respectively. The abundance of phytoplankton was not significantly different between spring and autumn. The abundance of phytoplankton differed between stations within the two seasons, indicating that phytoplankton abundance in the neighboring draining water stations was less than in distant stations. In this area, 7 kinds of dominant species appeared in total and only 1 species appeared in spring, with a predominance of 0.996. However, 7 dominant species appeared in autumn, including *Skeletonema costatum*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Chaetoceros pseudocurvisetus*, and *Chaetoceros decipiens*. The Shannon–Wiener diversity index H' , Pielou evenness index J' , and Margalef richness index D were 0.55, 0.18, and 0.50, respectively, in spring and were 2.80, 0.62, and 0.80, respectively, in autumn. All indexes demonstrated that the water adjacent to the Taishan Nuclear Power Plant is contaminated.

(本文编辑: 梁德海)