

文章编号:1000 - 0615(2001)02 - 0161 - 05

# 大亚湾核电站运转前后邻近海域 初级生产力及潜在渔获量初步研究

彭云辉<sup>1</sup>, 陈浩如<sup>1</sup>, 潘明祥<sup>1</sup>, 黄洪辉<sup>2</sup>, 高红莲<sup>1</sup>

(1. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301; 2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300)

**摘要:**根据 1992 - 1993 年、1994 - 1995 年和 1998 年的现场调查,对核电站邻近海域初级生产力及潜在渔业资源在核电站运转前和运转后的变化进行了初步研究,并讨论了各环境因子对初级生产力的影响。结果表明,核电站运转后,该海域的浮游植物总量、初级生产力及其年生产量均有显著增加,影响初级生产力的主要因子:核电站运转前是水温,运转后为透明度。

**关键词:**初级生产力;潜在渔获量;核电站;大亚湾

**中图分类号:**S932      **文献标识码:**A

## The primary production and potential fishery production in the sea area around the Daya Bay Nuclear Power Station before and after the operation of DBNPS

PENG Yun-hui<sup>1</sup>, CHEN Hao-ru<sup>1</sup>, PAN Ming-xiang<sup>1</sup>, HUANG Hong-hui<sup>2</sup>, GAO Hong-lian<sup>1</sup>

(1. South China Sea Institute of Oceanology, CAS, Guangzhou 510301, China;

2. South China Sea Fishery Research Institute, CAFS, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** The primary production and potential fishery production in the sea area around the Daya Bay Nuclear Power Station (DBNPS) before and after its operation of DBNPS were analyzed based on the surveys in 1992 - 1993, 1994 - 1995 and 1998. Furthermore, the environmental factors which would affect the primary production were discussed. The results show that the mass of phytoplankton, primary production and the annual yield increased distinctly after the operation of DBNPS, and the factors affecting the primary production was water temperature before its operation but transparency after.

**Key words:** primary production; potential fishery production; nuclear power station; Daya Bay

大亚湾第一座核电站于 1993 年 8 月 31 日正式并网发电,在大亚湾岭澳兴建的第二座核电站即将于 2002 年投入使用,大亚湾海域的水质状况及生物资源的持续利用已引起有关学者的关注<sup>[1-5]</sup>,大亚湾海域初级生产力的估算亦有报道<sup>[6-8]</sup>,而潜在渔获量的估算尚未见报道。本文根据核电站运转前(1992 - 1993 年)及核电站运转后(1994 - 1995 年,1998 年)春(4 月)、夏(7 月)、秋(10 月)和冬(1 月)4 季

收稿日期:2000-08-24

基金项目:广东省自然科学基金资助项目(970268)

第一作者:彭云辉(1943 - ),男,广东省兴宁人,高级工程师,主要从事近岸及河口区的生物地球化学研究工作, Tel: 020-84451335-522, E-mail: chenhaoru@163.net

的现场调查,分析了该海域初级生产力现状,并对核电站邻近海域的初级生产力及其影响因子和潜在渔获量在核电站运转前和运转后的变化进行了初步研究,为提高该海域的初级生产力提供依据。

### 1 方法

调查海域及站位设置示于图 1。

#### 1.1 初级生产力的估算

选用 Cadee 和 Hegeman<sup>[9]</sup>提出的简化公式估算初级生产力(如下所示),同化系数取 3.7<sup>[7]</sup>。

$$P = P_s \times E \times D / 2$$

$$P_s = \text{叶绿素 a 含量} \times \text{同化系数}$$

$$E = \text{透明度} \times 3$$

式中:P 为初级生产力,Ps 为表层水中浮游植物的潜在生产力(毫克碳·米<sup>-2</sup>·天<sup>-1</sup>,即 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>),E 为真光层深度,D 为日照时间长短。

#### 1.2 潜在渔获量的估算

$$\text{鱼类生产量} : F = P \times E_n$$

由鱼类生产量估算最大持续渔获量<sup>[10]</sup> :

$$W_{\max} = 0.5 \times F$$

式中,W<sub>max</sub> 为最大持续渔获量,F 为鱼类生产量。

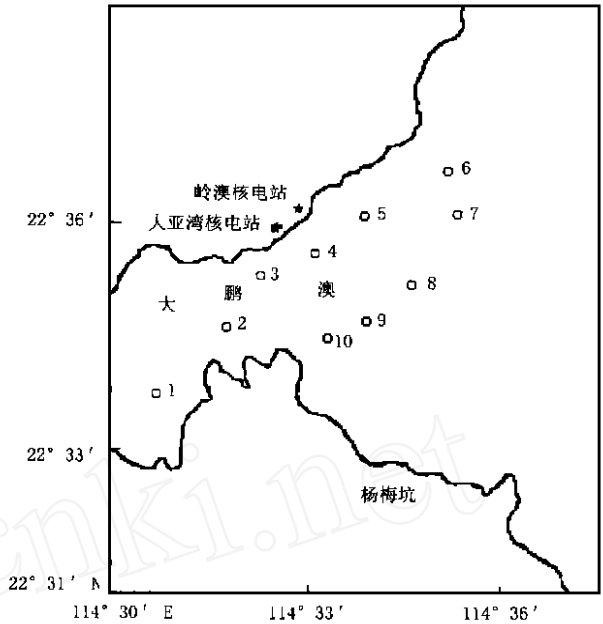


图 1 调查海域及采样站位图  
Fig. 1 Sketch map of sampling sites

### 2 结果与讨论

#### 2.1 核电站运转前和运转后初级生产力的季节变化

计算结果表明,大亚湾核电站邻近海域初级生产力的变化范围:核电站运转前(1992 - 1993 年)在 30~919 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>之间,年平均值为 241 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>。核电站运转后(1994 - 1995 年)在 134~1025 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>之间,年平均值为 490 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>。核电站运转 5 年后的 1998 年,对其邻近海域再次进行了初级生产力的调查,其初级生产力的变化范围在 96~1672 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>之间,年平均值为 646 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>。

从图 2 可见,核电站邻近海域初级生产力的季节变化中,核电站运转前(1992 - 1993 年)夏季最高达 409 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>,冬季最低,为 114 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>,年变化较大;核电站运转后(1994 - 1995 年)冬季最高,达 619 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>,秋季最低,为 323 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>;核电站运转 5 年后的 1998 年,亦是冬季最高,达 830 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>,最低则为春季,只有 346 mg C·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>。

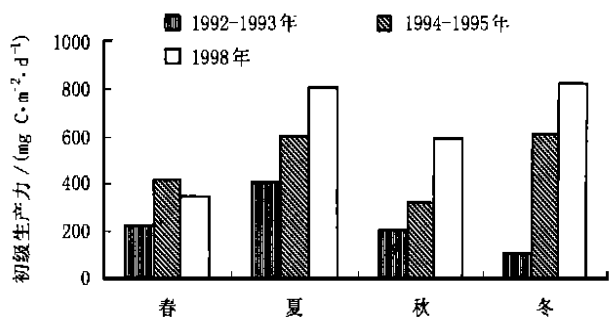


图 2 核电站运转前后初级生产力的季节变化  
Fig. 2 Seasonal variation of primary production before and after the operation of DBNPS

核电站邻近海域的初级生产力均是运转后高于运转前。核电站运转后春季的初级生产力,1998 年低于 1995 年,因 1998 年春季浮游植物繁殖生长高峰提前出现,浮游植物消耗大量营养盐,至 4 月份常规调查时,营养盐含量很低,为 4 个季节中最低,以无机氮含量为例,1998 年冬季表、底层总无机氮(TIN)平均值分别为  $5.24\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$  和  $2.47\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ,而 1998 年春季只有  $2.18\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$  和  $1.36\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ,极低的营养盐含量成为浮游植物生长的限制因子。

核电站冷却水循环过程的机械撞击,温排水和氯气化学作用对各种海洋浮游植物会产生影响,由于受纳水体中各种理化因子的作用,以及生物自身的恢复能力,当热废水排入受纳水体后,这种影响将或快或慢地消失,因此核电站运转后叶绿素及初级生产力的变化存在可比性。

根据国外有关温排水对海洋生物影响的研究表明<sup>(1)</sup>,水温升高  $6\sim 8$  ,在夏季引起浮游植物光合作用的活性减弱,这种现象并未破坏藻类的细胞,经过几小时后(不超过一昼夜),浮游植物的光合作用就会恢复。对浮游动物而言,水体增温  $3$  时,多数情况下不会对其种群有不利影响,相反会促进其种类数量及生物量的增加,从而提高海域的生产力和物种多样性,这种情况在水温低的冬季更为明显。

从表 1 可见,核电站运转后冬季初级生产力的提高率,1994 - 1995 年度比其它季节高  $4\sim 9$  倍,1998 年度则高  $3\sim 9$  倍。核电站邻近海域 1993 年、1995 年和 1998 年 1 月(冬季)表层平均水温分别为  $19.30$ 、 $19.30$  和  $19.80$  ,核电站运转近 5 年后的升温幅度只有  $0.77$  。图 2 表明,核电站运转后,其温排水的升温效应可提高其邻近海域的初级生产力。

表 1 核电站运转后各季节初级生产力的提高率

Tab.1 The percentage increasing rate of primary production

季 节	春 季		夏 季		秋 季		冬 季	
	1995 - 04	1998 - 04	1994 - 07	1998 - 07	1994 - 10	1998 - 10	1995 - 01	1998 - 01
提高率(%)	101	67	47	98	52	181	443	628

统计结果亦表明,核电站邻近海域的浮游植物总量,运转后比运转前有显著增加,1998 年的年平均总量为  $149.6 \times 10^6$  个  $\cdot\text{m}^{-3}$ ,而 1991 年只有  $14 \times 10^6$  个  $\cdot\text{m}^{-3}$ ,1998 年比 1991 年高出一个数量级。

## 2.2 潜在渔业资源估算

要准确地估计大亚湾核电站邻近海域中鱼虾贝类的生产量还需作进一步的研究,但是我们已经了解核电站邻近海域的初级生产力状况,可对核电站邻近海域的生物生产力作初步推算,并在理论上估算出这个系统的潜在生产量。在进行估算时,本文采用世界近岸海域沿用的营养转换效率(15%)和营养阶层转换级数(3),有机碳与生物量(鲜重)之比值为  $1:20^{[10]}$ ,计算公式为:

$$\text{有机碳} = \text{初级生产力} \times \text{水域面积}$$

$$\text{生物量(鲜重)} = \text{有机碳} \times 2$$

$$\text{食植动物产量} = \text{有机碳} \times \text{营养阶层转换系数}$$

$$\text{初级食肉动物产量} = \text{食植动物产量} \times \text{生产效率(即营养转换效率)}$$

核电站邻近海域的面积以  $45\text{km}^2$  计,估算结果列于表 2。

表 2 表明,核电站运转后比运转前其邻近海域初级生产力有明显增加,1998 年比 1992 - 1993 年增加了近 1.7 倍,以 1998 年计,核电站邻近海域初级生产力的年平均值为  $236\text{C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ;初级生产量为  $10.6 \times 10^3\text{t}$  有机碳,鱼类产量  $720\text{t}$ ,最大持续渔业资源近  $360\text{t}$ 。

(1) 中国水产科学研究院南海水产研究所. 大亚湾渔业资源状况及核电站取排水对其影响的初步分析专题报告,1995.

表 2 核电站运转前后其邻近海域潜在渔业资源

Tab. 2 The potential fishery resources in the sea area around the DBNPS ( $t \times 10^3 a^{-1}$ )

时 间	初级生产力 $g C \cdot (m^2 a)^{-1}$	浮游植物产量		食植动物 产量	初级食肉动物 产量	鱼类 产量	最大持续 渔业资源
		有机碳	鲜重				
运转前 (1992 - 1993 年)	88	4.0	80	12.0	1.8	0.27	0.14
运转后 (1994 - 1995 年)	180	8.1	162	24.3	3.6	0.55	0.28
(1998 年)	236	10.6	212	31.8	4.8	0.72	0.36

## 2.3 环境因子对初级生产力的影响

### 2.3.1 水温、盐度对初级生产力的影响

回归统计的结果表明(表 3),核电站运转前,初级生产力与水温 and 盐度在春季不相关;冬、夏季仅与水温高度显著相关;秋季与水温 and 盐度显著相关。核电站运转后,夏、冬季节(1998 - 07 和 1998 - 01 航次)初级生产力与水温显著相关,春季则与盐度显著相关。

表 3 初级生产力与各环境因子的相关系数

Tab. 3 Co-relationships between the primary production and environmental factors

季节	年 份	T	S	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	PO <sub>4</sub> - P	SiO <sub>3</sub> - Si	透明度
春	1993 - 04	- 0.157	0.155	- 0.496	0.258	- 0.009	0.469	0.660	0.232
	1995 - 04	- 0.203	0.686 *	- 0.766 **	- 0.364	- 0.693 *	- 0.777 **	- 0.680 *	0.931 **
	1998 - 04	- 0.085	0.356	- 0.299	- 0.434	0.055	0.505	- 0.217	0.605 *
夏	1993 - 07	- 0.852 **	0.039	0.746 *	0.283	0.905 **	0.571	- 0.569	0.872 **
	1994 - 07	0.042	- 0.193	0.414	- 0.248	0.282	0.675 *	0.504	- 0.178
	1998 - 07	- 0.656 *	0.132	- 0.149	- 0.290	- 0.227	- 0.346	- 0.695 *	0.759 **
秋	1992 - 10	- 0.710 *	- 0.724 *	- 0.143	0.690 *	0.516	- 0.059	- 0.118	0.144
	1994 - 10	- 0.194	- 0.040	0.585	- 0.324	- 0.071	- 0.270	0.501	0.910 **
	1998 - 10	0.179	0.332	0.001	- 0.211	0.081	- 0.029	- 0.030	0.726 **
冬	1993 - 01	- 0.614 *	0.360	0.263	- 0.027	0.720 *	0.467	- 0.309	0.428
	1995 - 01	0.549	0.156	0.444	0.202	0.300	0.353	0.161	0.841 **
	1998 - 01	- 0.626 *	- 0.379	0.284	- 0.144	- 0.157	- 0.703 *	- 0.439	0.492

注: \* 为显著相关( $\alpha = 0.05$ ); \*\* 为高度显著相关( $\alpha = 0.01$ )

上述结果说明,水温对初级生产力的影响,核电站运转前强于运转后;水温是浮游植物生长繁殖的重要因子,浮游植物数量的季节变化受水温变化的直接影响,在生物代谢过程中,温度虽不参与反应,但是可控制其强度,显然,核电站运转前(1992 - 1993 年)冬季海水温度低是初级生产力低的主要因素之一。核电站运转后,由于温排水的影响,人为改变了该海域的水温变化,削弱了水温对初级生产力的影响,冬季水温虽然较低,但其初级生产力反而提高了,其原因有待进一步探讨;核电站的运转不会影响海水盐度的变化,因此,无论核电站运转前或运转后,盐度对初级生产力的影响不明显。

### 2.3.2 营养盐对初级生产力的影响

回归统计的结果表明(表 3),核电站运转前,初级生产力与无机氮在夏、冬季节显著相关,其余季节与各项营养盐均不相关。核电站运转后,秋季与各项营养盐均不相关,夏、冬季节仅与磷和硅酸盐显著相关,而春季(1995 年 4 月航次)则与无机氮、磷酸盐和硅酸盐显著或高度显著相关,因春季是浮游植物生长繁殖高峰,大量消耗水中营养盐,是营养盐成为初级生产力的限制因子。

上述结果说明,核电站运转前,无机氮对该海域初级生产力的影响较 PO<sub>4</sub> - P 大,即无机 N 是初级

(2) 赵 伟,张正斌,王肇鼎,等. 大亚湾生态系的 N/P 比率. 大亚湾生态系统综合研究,2000.

生产力的限制因子,而核电站运转后,特别是夏、冬季节, $PO_4 - P$ 对初级生产力的影响大于无机氮, $PO_4 - P$ 成为初级生产力的限制因子。 $N$ 、 $P$ 、 $Si$  营养盐是海洋浮游植物生长繁殖所必需的成分,也是海洋初级生产力和食物链的基础,海洋浮游植物按一定比例吸收水中的  $N$ 、 $P$ 、 $Si$  营养盐,如果比例偏离过高或过低,其中含量相对低的营养盐将成为浮游植物生长的限制因子。近年来的研究表明,大亚湾海域水中的  $N/P$  比值有逐年增大的趋势,海水中由缺乏含氮营养盐逐渐转变为缺乏含磷营养盐<sup>(2)</sup>。

### 2.3.3 海水透明度对初级生产力的影响

海水透明度是表征海水能见程度的一个量度,它反映了海水的混浊程度。透入海水中的光能是浮游植物进行光合作用的必要条件,太阳光能透入海水的深度决定了生产层的大小,因此海水透明度是影响初级生产力的重要因子。

回归统计的结果表明(表3),核电站运转前,初级生产力只有在夏季与透明度高度显著相关,其余季节不相关。核电站运转后,初级生产力春、夏、秋、冬4季与透明度均显著或高度显著相关,且其相关系数的绝对值除1998年1月航次外,均大于各环境因子。表明核电站运转后,海水透明度是该海域初级生产力的主要限制因子。

综上所述,可以看出初级生产力的季节变化受到各种因子的影响,它们之间的关系复杂多变,要想通过任何一个因子的直接比较分析来推论出限制因子的效率是困难的,本文只是对核电站运转前后影响初级生产力的因子作相对比较,讨论中还有一些未提及的因子,如太阳光辐射强度,动物的摄食,藻细胞的沉降等,目前尚未有这些因子的资料来有效地讨论它们影响,对于各种环境因子与初级生产力之间的相互关系有待今后进一步研究。

## 3 结语

(1) 大亚湾核电站邻近海域的初级生产力,无论在核电站运转前或运转后,其季节变化明显。核电站运转前(1992 - 1993)夏季最高达  $409 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,冬季最低,为  $114 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,年变化较大;核电站运转后(1994 - 1995)冬季最高,达  $619 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,秋季最低,为  $323 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ;核电站运转5年后的1998年,亦是冬季最高,达  $830 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,最低则为春季,只有  $346 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

(2) 核电站邻近海域初级生产力的年生产量运转前(1992 - 1993年)为  $88 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ;运转后分别为  $180 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (1994 - 1995)和  $236 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (1998)。根据1998年的调查结果,说明核电站运转后温排水的升温效应对受纳水体中浮游植物的初级生产力无抑制作用。

(3) 影响核电站邻近海域初级生产力的主要因子,核电站运转前是水温,核电站运转后是海水透明度。

## 参考文献

- [1] 邹仁林. 大亚湾海洋生物资源的持续利用[M]. 北京:科学出版社,1996. 73 - 128.
- [2] 温伟英,何悦强,郑庆华. 大亚湾的环境研究[J]. 热带海洋,1992,11(2):25 - 30.
- [3] 彭云辉,王肇鼎,陈浩如,等. 大亚湾核电站运转前及运转后大鹏澳海域水质状况评价[J]. 海洋环境科学,1998,17(2):12 - 16.
- [4] 彭云辉,王肇鼎. 大亚湾大鹏澳养殖海区水化学指标的变化及营养状况分析[J]. 台湾海峡,1999,18(1):26 - 32.
- [5] 暨卫东,黄尚高. 大亚湾水质营养状况[A]. 大亚湾海洋生态文集( ) [C]. 北京:海洋出版社,1989. 29 - 35.
- [6] 陈其焕,庄亮种,陈兴群,等. 大亚湾叶绿素a与初级生产力[A]. 大亚湾海洋生态文集(II) [C]. 北京:海洋出版社,1990. 198 - 209.
- [7] 黄良民,袁文彬. 叶绿素含量的周年变化和初级生产力估算[A]. 大亚湾环境与资源[C]. 合肥:安徽科学技术出版社,1989. 115 - 128.
- [8] 黄西能. 叶绿素a和初级生产力[A]. 大亚湾生态系统研究(一) [C]. 北京:气象出版社,1999. 36 - 45.
- [9] Cadee G L, Hegeman J. Primary production of phytoplankton in the dutch wadden sea[J]. Netherland J Sea Res, 1974,3(2):240 - 259.
- [10] 费尊乐,毛兴华,朱明远,等. 渤海生产力研究 II, 初级生产力及潜在渔获量的估算[J]. 海洋学报,1998,10(4):481 - 489.