

# 大鹏澳网箱养鱼水体自身污染及富营养化研究\*

王肇鼎 彭云辉 孙丽华 陈浩如

(中国科学院南海海洋研究所 广州 510301)

**提要** 根据1998年8~10月每月1次对大亚湾大鹏澳网箱养鱼水体26h定点连续观测,采用国内常用的营养状态质量指数( $I_{NQ}$ )法,并选用COD、TIN、 $PO_4\cdot P$ 和Chla为评价指标,分析了各网箱水体的富营养化程度,讨论了A网箱 $I_{NQ}$ 值的周日变化;用质量平衡法估算了网箱养鱼水体的氮、磷负荷量。分析结果表明,8~10月份各网箱水体营养状况属中营养水平; $I_{NQ}$ 值的周日变化中,高峰出现在12:00~18:00,各网箱水体富营养化程度随着放养密度的增加而增大,8、9月份最为明显。网箱养鱼的水体的氮、磷负荷从7月至9月逐月增大,10月开始下降。

**关键词** 网箱养殖,自身污染,富营养化,大鹏澳

**中图分类号** S962.3+2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3096(2003)02-0077-05

沿岸港湾的海水养殖对海区生态环境的影响近年来一直受到关注<sup>[1]</sup>。大鹏澳是大亚湾网箱养殖的主要海域之一,据近年统计,养殖鱼排有148个,养殖网箱约1300多个。大鹏澳养殖海区水化学指标的变化及营养状况分析,大鹏澳水域水环境的特征与营养状况以及大亚湾核电站运转前及运转后大鹏澳海域水质状况评价已有报道<sup>[2-6]</sup>。本文根据1998年8~10月份对网箱养鱼水体26h定点连续观测,首次对大鹏澳网箱养鱼水体的富营养化程度进行分析,并对网箱养鱼水体的自身污染进行了评估。

## 1 研究海区与分析方法

在大鹏澳养殖鱼排设4个网箱(A、B、C、D,见图1)。A、B、C、D4个网箱(规格为3m×3m×3m)于1998年6月份放养300、250、200和150尾军曹鱼(*Rechycentron canadum* Linnaeus)苗,养成至商品鱼出售时的成活率为92%。

8~10月每月1次在4个网箱进行26h定点连续观测,使用5L有机玻璃采水器在网箱内离水面1m处每2h采集水样1次,水样送回岸上实验室测定。化学耗氧量(COD)用碱性高锰酸钾测定,其余水样经0.45μm滤膜过滤后供营养盐测定用。硝酸氮( $NO_3^-N$ )、亚硝酸氮( $NO_2^-N$ )、铵氮( $NH_4^+N$ ) (以总无机氮(TIN)表示)和活性磷酸盐( $PO_4P$ ),用微量连续流动分析系统(荷兰Skalar公司产品)测定。叶绿素a(Chla)用分光光度法测定。

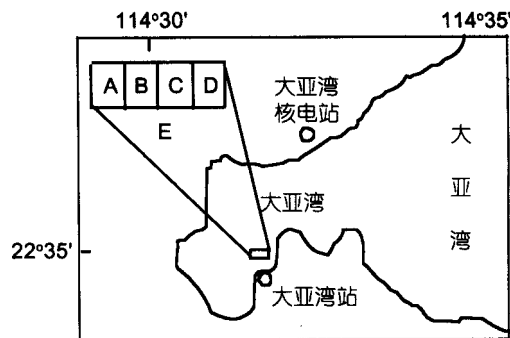


图1 大鹏澳观测海区与网箱设置

Fig.1 Observation area and location of fish cage-farming in Dapengao Cove

## 2 结果与讨论

### 2.1 网箱水体富营养化程度分析

判别海水富营养化有3种方法:(1)化学指标法;(2)生物多样性指数法;(3)营养状态质量指数法。邹

\* 中国科学院创新课题 KZCX2-403-04 号。

第一作者:王肇鼎,出生于1943年,博导,研究员,目前在研课题为“大亚湾富营养化过程中生态系统退化机理的研究”(中国科学院创新项目)。通信地址:广州市新港西路164号,邮编510301

收稿日期:2001-08-27;修回日期:2002-05-16

景忠等用化学指标法评价渤海湾富营养化状况时,拟定 COD 为 1~3 mg/L;无机磷为 0.045 mg/L(1.45 μmol/L);无机氮为 0.2~0.3 mg/L(14.3~21.4 μmol/L);Chla 为 1~10 mg/L 为富营养化的阈值,并用作评价指标。陈于望用营养状态质量指数( $I_{NQ}$ ),并以  $I_{NQ} > 3$ 、 $I_{NQ} = 2 \sim 3$  和  $I_{NQ} < 2$  为分级标准分析了厦门港海域的营养状况;分析指数及标准为 COD=3 mg/L, TN=0.6 mg/L, TP=0.03 mg/L, Chla=5 mg/L<sup>[7]</sup>。为方便与历史资料<sup>[6]</sup>比较,本文选用  $I_{NQ}$  来分析网箱水体的营养状况。选用 COD, TIN, PO<sub>4</sub>-P 和 Chla 作为分析指标,采用国家第一类海水水质标准(GB 3097-1997)作为评价标准,即 COD 为

2 mg/L, TIN 为 0.2 mg/L, PO<sub>4</sub>-P 为 0.015 mg/L, 因水质标准中未列入 Chla, 考虑到网箱水体 Chla 含量较高的实际情况,暂定 Chla 为 10 mg/m<sup>3</sup>。

$$I_{NQ} = \frac{C_{COD}}{C_{s(COD)}} + \frac{C_{TIN}}{C_{s(TIN)}} + \frac{C_{PO_4-P}}{C_{s(PO_4-P)}} + \frac{C_{Chla}}{C_{s(Chla)}}$$

式中,分子项分别为 COD, TIN, PO<sub>4</sub>-P 和 Chla 的实测值,分母项分别为 COD, TIN, PO<sub>4</sub>-P 和 Chla 的营养状态分析标准。

根据  $I_{NQ}$ , 可将网箱水体营养状态水平分为三级; $I_{NQ} > 3$ , 为富营养水平; $I_{NQ} = 2 \sim 3$ , 为中营养水平; $I_{NQ}$  值  $< 2$  为贫营养水平。

从表 1 可看出,各网箱水体富营养化程度与网箱

表 1 各网箱的  $I_{NQ}$  值及水温变化

Tab. 1  $I_{NQ}$  and temperature changes in each cage farming

时间 (月份)	$I_{NQ}$				水温(°C)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
8	2.39	2.56	2.29	2.20	30.9	30.9	30.9	30.9
9	2.34	2.50	2.18	1.95	29.0	29.0	29.0	29.0
10	2.16	2.34	2.27	1.73	28.4	28.4	28.4	28.4

放养密度有密切关系,网箱放养密度越大,其水体富营养化程度越高,8 月和 9 月份特别明显;富营养化程度与水温变化也有关系,各网箱 8 月至 10 月水温逐月降低,其  $I_{NQ}$  值(即富营养化程度)亦逐月变小,A, B, D 网箱特别明显。水体富营养化程度亦与网箱内外水交换条件的好坏有关,A 网箱放养密度大于 B 网箱,但是 8~10 月 A 网箱的  $I_{NQ}$  值均小于 B 网箱,因 A 网箱有两边可进行网内外水交换,而 B 网箱只有 1 边(见图 1),A 网箱内外水交换条件优于 B 网箱,因而 A 网箱富营养化程度低于 B 网箱。

从表 1 还可看出,除 D 网箱 9,10 月份水体营养状态属贫营养水平,8 月份  $I_{NQ}$  值在 2~3 之间,属中营养水平外,其余网箱在 8~10 月中,  $I_{NQ}$  值均在 2~3 之间,水体营养状态属中营养水平。对比同期(1998 年 10 月)对大鹏澳水域 3 个站的调查,其表层水中 COD, PO<sub>4</sub>-P, TIN 和 Chla 的  $I_{NQ}$  平均值分别为 0.31, 0.15, 0.22 和 0.84, 合计为 1.52, 比 4 个网箱的  $I_{NQ}$  值均低,其营养状态为贫营养水平,说明网箱水体的富营养化程度比周围水体要高。

就各网箱单项指标而言(见表 2), COD 在 8~10 月中  $I_{NQ}$  变化幅度很小(约 0.5 左右),说明其浓度状态较稳定,不是主要的污染指标; PO<sub>4</sub>-P 在 8 和 9 月份(尤其是在 A, B, C 3 个网箱)对营养状态质量指数的贡献较大,10 月份其贡献最小; TIN 则在 10 月份

对营养质量指数的贡献最大(尤其在 A, B, C 3 个网箱); Chla 对营养状态质量指数的贡献则在 8 月份最大,9 月份最小。

综上所述,说明养鱼网箱富营养化程度与网箱放养密度及水温变化有密切关系,亦与网箱内外水交换条件优劣有关。放养密度大,水温高,富营养化程度相对高,网箱内外水交换条件好则富营养程度相对低。

从图 2 可见,  $I_{NQ}$  值的高峰出现时间,无论是 8 月还是 9,10 月,均为 14:00~20:00 左右。这段时间是人类活动影响较大的时间,渔船、渔排及沿岸生活污水的排放,养殖生物的排泄物及残余饵料等进入水体提高了水中氮、磷含量。据统计,A 网箱(16:00~18:00),

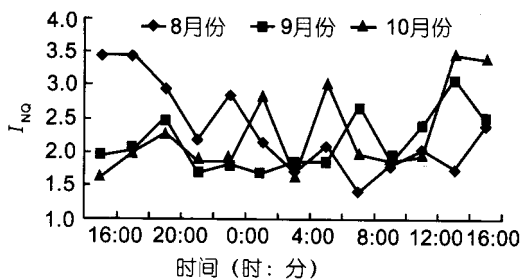


图 2 A 网箱海水中  $I_{NQ}$  值周日变化  
Fig. 2 Daily variation of  $I_{NQ}$  in seawater of cage farming A

表 2 各网箱分析指标的  $I_{N_0}$  值

Tab.2 Analyse index of  $I_{N_0}$  in each cage-farming

分析指标	时间(月份)	$I_{N_0}$				平均
		A	B	C	D	
COD	8	0.56	0.50	0.50	0.51	0.52
	9	0.50	0.51	0.50	0.49	0.50
	10	0.49	0.42	0.51	0.46	0.47
PO <sub>r</sub> -P	8	0.62	0.74	0.50	0.41	0.57
	9	0.81	1.01	0.85	0.58	0.89
	10	0.13	0.21	0.18	0.10	0.16
TIN	8	0.44	0.42	0.40	0.42	0.42
	9	0.56	0.45	0.35	0.37	0.43
	10	0.80	0.96	0.83	0.40	0.75
Chla	8	0.77	0.90	0.89	0.86	0.86
	9	0.47	0.53	0.48	0.51	0.50
	10	0.74	0.75	0.75	0.77	0.75

PO<sub>r</sub>-P 浓度分别为 0.63 μmol/L 和 0.92 μmol/L, 对  $I_{N_0}$  的贡献分别为 35%~55%; 9 月份 (12:00~16:00), PO<sub>r</sub>-P 浓度分别为 0.66 μmol/L、0.90 μmol/L 和 0.73 μmol/L, 占  $I_{N_0}$  值的百分比分别为 56%, 59% 和 61%; 10 月份 (14:00~16:00) TIN 浓度分别为 16.96 μmol/L 和 20.01 μmol/L, 占  $I_{N_0}$  值的百分比分别为 55% 和 65%。

## 2.2 网箱水体自身污染估算

网箱养殖对浅海生态系统的负面影响主要表现为养殖水域营养负荷增加, 由于网箱养殖普遍采取高密度放养, 需投放大量的饵料来维持高的生产力, 所投放饵料均以新鲜或冰冻小杂鱼为主, 鲜饵料除一部分为养殖鱼类利用外, 其余均以不同形式进入周围水体, 加上养殖鱼类的排泄物增加, 大大超过了水体的自净能力, 使得养殖水域自身污染严重, 导致养殖环境恶化, 水体富营养化突出。为了解大亚湾大鹏澳网箱养鱼水体的自身污染程度, 本文估算了网箱水体中的氮、磷负荷量 (暂不考虑海流及网箱间的相互干扰等影响因素)。

林燕棠 1999 年在中国赤潮监测及管理会议上指出, 在研究大亚湾网箱养殖对环境的影响时, 用质量平衡法 (依据是“单位产量所投喂的营养成分总量, 扣

除积蓄在养殖生物体中的量, 剩余者即为环境负荷量”) 计算了网箱养鱼水体中的氮、磷负荷。

氮负荷的计算公式如下:

$$T_N = (C \times N_i - N_0) \times 10^3$$

式中,  $T_N$  为环境氮负荷量 (kg/t);  $C$  为饵料系数;  $N_i$  为饵料鱼的 N 含量 (%);  $N_0$  为养殖鱼的 N 含量 (%)。

磷负荷的计算公式如下:

$$T_P = (C \times P_i - P_0) \times 10^3$$

式中,  $T_P$  为环境 P 负荷量 (kg/t);  $C$  为饵料系数;  $P_i$  为饵料鱼的 P 含量 (%);  $P_0$  为养殖鱼 P 含量。

林燕棠的上述报告还指出, 目前广东沿海网箱养鱼一般所用饵料鱼有如下几种: 孔暇虎鱼、披暇虎鱼、中华青鳞鱼、棘头梅童鱼、七丝、蓝圆等, 其体内蛋白质含量范围为 9.3%~18.6%, 平均为 14.3%, 氮的含平均量的为 2.3%; 磷的平均含量为 0.44%; 网箱养殖鱼体内蛋白质含量范围为 15.2%~19.3%, 平均为 17.3%, 氮的平均含量为 2.8%, 磷的平均含量为 0.2%。大亚湾网箱养殖鱼类有鲈鱼、鲷科鱼类、石斑鱼、狮鱼和军曹鱼等, 这些鱼类的饵料系数从 5~9 不等, 所养鱼类中饵料系数较低的鲈鱼数量不多。因此, 在计算水体中氮、磷的负载量时, 饵料系数取 8。据此, 本文计算结果表明, 大亚湾网箱区每养成 1 t

鱼, 排放到环境中氮的数量为 156 kg; 磷的数量为 32.3 kg。并可计算出各网箱每月的 N、P 负荷量, 4 个

网箱每月的 N、P 负荷量列于表 4。各网箱鱼的月平均增重量示于表 3。

表 3 各网箱养殖鱼的平均体质量

Tab. 3 Average weight of culture fish in each cage-farming

时间(月份)	平均体质量(g/个)			
	A	B	C	D
6(起始体质量)	114	114	114	114
7	398	285	308	369
8	733	759	758	787
9	1 325	1 305	1 355	1 310
10	1 580	1 705	1 720	1 820

表 4 各网箱每月 N 和 P 负荷量

Tab. 4 Loads of N and P every month in each cage-farming

时间(月份)	N 负荷量(g/m <sup>2</sup> )					P 负荷量(g/m <sup>2</sup> )				
	A	B	C	D	平均	A	B	C	D	平均
7	4.92	2.96	3.36	4.42	3.92	1.02	0.61	0.70	0.92	0.81
8	5.80	8.22	7.80	7.25	7.27	1.20	1.70	1.62	1.50	1.50
9	10.26	9.46	10.35	9.07	9.78	2.12	1.96	2.14	1.88	2.03
10	4.42	6.93	6.33	8.84	6.63	0.92	1.44	1.31	1.83	1.37

从表 3 可看出, 各网箱鱼的净增量 7~9 月逐月增大, 9 月份最大, 10 月份增幅降低, 尤其是网箱 A, 增幅下降最大(337 g/个), D 网箱降幅下降最小(13 g/个)。

从表 4 可看出, 各网箱的 N、P 负荷量及其平均值, 7~9 三个月中逐月增大, 9 月份量大, 10 月份开始降低。

据 1998 年统计, 大鹏澳养殖网箱有 1 300 多个, 养殖面积约 12 000 m<sup>2</sup>, 每个网箱的 N、P 负荷量以 4 个网箱的平均值为依据, 则可估算出大鹏澳的网箱养殖海区 7~10 月份的 N、P 负荷量(见图 3)。

从图 3 可见, 7~10 月份大鹏澳网箱养殖海区 N、P 的月负荷量范围分别在 47.0~117.4 kg 和 9.7~24.4 kg 之间, 平均值分别为 82.8 kg 和 17.1 kg。

### 3 结语

观测期间, 大鹏澳网箱养鱼水体营养状态属中营养水平, 各网箱水体富营养化程度 8 月份最高; 网箱水体的富营养化程度与网箱放养密度, 水温变化及网箱内外水交换条件优劣有关, 放养密度大, 富营养化

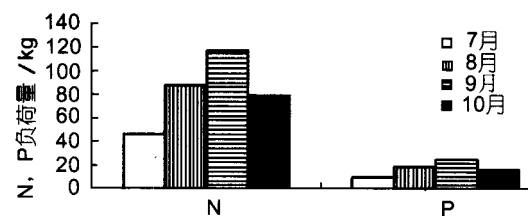


图 3 大鹏澳养殖海区的 N 和 P 负荷量

Fig. 3 Loads of N and P from fish cage-farming in Dapengao Cove

程度相对高。大鹏澳网箱养鱼水体的氮、磷负荷量从 7 月份至 9 月份逐月增大, 10 月份开始下降。

### 参考文献

- Jickells T D, Nutrient biogeochemistry of the coastal zone. *Science*, 1998(281): 217-222
- 暨卫东, 黄尚高. 大亚湾海洋生态文集. 北京: 海洋出版社, 1989. 29-35
- 温伟英, 何悦强, 郑庆华, 等. 大亚湾的环境研究. 热带海洋, 1992, 11(2): 25-30
- 王肇鼎, 彭云辉, 丘耀文, 等. 大亚湾海洋资源的持续利用. 北京: 科学出版社, 1995. 123-128

- 5 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.海洋环境科学,1998,17(2):12-16
- 7 陈于望.厦门港海域营养状况的分析.海洋环境科学,1987,6(3):14-19
- 6 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.台湾海峡,1999,18(1):26-32

## SECF- POLLUTION AND EUTROPHICATION IN AREA OF FISH CAGE- FARMING IN DAPENGGAO COVE

WANG Zhao Ding PENG Yun-Hi SUN Li-Hua CHEN Hao Ru

( Marine Biology Research Station at Daya Bay, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301)

Received: Aug., 27, 2001

Key Words: Fish cage-farming, Self-pollution, Eutrophication, Dapengao Cove

### Abstract

26 Irobervation at fixed site were conducted monthly in the area of fish cage-farming in Dapengao Cove in August to October 1998. The eutrophication level in seawater body of the cages was evaluated by the method of nutritive quality ( $I_{NQ}$ ), taking COD, TIN, PO<sub>r</sub>P and Chl-a as assessment indexes, respectively. Daily variation of  $I_{NQ}$  was discussed for the seawater of fish cage-farming; In addition, the loads of N and P were estimated by the mass-balance method. Results showed that seawater in the cages did not reach the eutrophication level in August to October 1998, and the eutrophication level of seawater in the cages was increasing with the increasing of fish density, it was the most significant in August and September. The Loads of N and P from the fish cage-farming increased in July to September, and started to decrease in October.