

哑铃湾网箱养殖区底层水营养盐的分布与评价*

韦献革¹, 温琰茂¹, 王文强¹, 贾后磊^{1,2}, 徐昕荣¹

(1. 中山大学环境科学系, 广东 广州 510275;

2. 国家海洋局 南海海洋勘察与环境研究院, 广东 广州 510300)

摘 要: 根据2002年4月至2003年1月在哑铃湾网箱养殖区水化学的现场调查, 分析了网箱区和对照点底层海水中溶解无机氮磷的含量差异和季节变化特征, 讨论了溶解态无机氮磷与环境因子的线性相关性, 并对哑铃湾网箱养殖区底层海水的富营养化水平进行评价。结果表明: 哑铃湾网箱养殖对底层海水 pH 值、DO、COD、 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 的影响不明显, 对 NH_4^+ -N、DIN 和 PO_4^{3-} -P 的影响相对较大, 短期养殖的影响较小, 长期养殖的影响明显。溶解无机氮磷原子比值降低, 使该海区营养盐结构的改变, 对赤潮发生带来一定风险。季节上春、秋季的影响更明显。哑铃湾养殖区底层海水在春、秋两季已达到富营养化水平, 养殖期越长, 富营养化程度越高。

关键词: 氮; 磷; 网箱养殖; 底层海水; 哑铃湾

中图分类号: X171.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2005) 04-0115-05

哑铃湾位于大亚湾西北部, 是一个半封闭的亚热带潮谷湾, 也是广东省重要的网箱养殖基地。大亚湾属于贫营养型海域, 但初级生产力较高^[1]。近十年来, 随着沿岸经济的发展和海水养殖规模的扩大, 大亚湾海域的营养盐含量和结构发生了变化, 溶解无机氮逐年上升, 溶解无机磷则有较大幅度的下降, 浮游植物生长由氮控制转变为由磷控制^[2]。在哑铃湾养殖海区, 养殖活动引起水体中营养盐的增加, 丰富的营养物质使该海域近年来成为赤潮多发区^[3]。养殖海域底层海水中的营养盐除直接受养殖残饵和养殖生物排泄物的影响外, 大量有机物质累积在沉积物中, 通过沉积物—水界面交换作用再次活化, 使底层海水成为沉积物“二次污染”的通道^[4]。对哑铃湾养殖区营养盐状况的大面调查已有报道^[5], 但对不同养殖年限网箱区底层海水中营养盐的周年定点调查与比较研究还较少。根据2002年4月至2003年1月哑铃湾养殖区底层海水水化学指标的现场调查, 分析了营养盐的时空变化, 并对水质及富营养化程度进行了评价, 为进一步研究哑铃湾网箱养殖海区的物质平衡和养殖容量的优化提供基础数据, 对哑铃湾海洋资源的保护和水产养殖业的可持续发展具有重要意义。

为研究对象(图1)。哑铃湾东西长12 km, 南北宽7 km, 水域面积50 km², 水深6~8 m。潮汐运动主要受流经巴士海峡和台湾海峡传来的太平洋潮波影响, 同时受大亚湾内的地形影响, 属不规则半日混合潮, 潮汐的日不等现象显著。年平均潮差约为1 m, 春、夏和秋季哑铃湾海流均构成一个顺时针方向的低速环流系统(平均0.1 m/s), 其中秋季流速最大。哑铃湾周围无内河径流注入, 潮波运动主导水流运动, 潮流动力作用较弱^[6]。

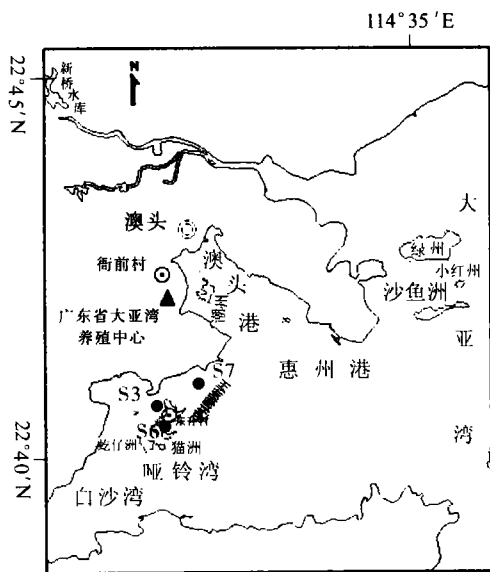


图1 调查海区及采样点

Fig.1 Area of survey and sampling stations

1 材料和方法

1.1 研究区域

本研究选取大亚湾西北部的哑铃湾网箱养殖区

* 收稿日期: 2004-07-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40071074); 广东省环保局科技研究开发项目(20002026242027)

作者简介: 韦献革(1967年生), 男, 讲师, 博士生; E-mail: eeswxg@zsu.edu.cn

哑铃湾网箱养殖是该海域最重要的水产养殖方式,主要分布在东升村内圆洲、猫洲和蛇仔洲等小岛周围和衙前村。目前仍采用木架浮动式网箱,其抗风浪、台风性能差。据现场调查,研究海域共有网箱约4 000个(多为3 m×3 m),面积约5万m²,年产量2 000 t。养殖品种主要有红鳍笛鲷、花尾胡椒鲷、美国红鱼、斜带石斑和紫红笛鲷等。养殖周期一般为1 a,在春季下苗,冬季收获。投喂的饵料主要来源于海上打捞的下杂鱼。在鱼苗阶段(小于50 g/条),把下杂鱼碾碎成鱼糜投喂,投喂数量占鱼苗体重的20%~30%,投喂频率为每日4次;在小鱼阶段(50~250 g/条),直接投喂下杂鱼,投喂数量占小鱼体重的10%~20%,投喂的频率为每日2次;在成鱼阶段(大于250 g/条),投喂的数量占成鱼体重的6%~10%,投喂的频率为每日1次。饵料系数为6~8,饵料的利用率鱼苗约为70%,成鱼约为90%。

1.2 采样和分析

在哑铃湾网箱养殖海区设置3个采样点。S3位于养殖中心网箱(养殖年限>3 a),S6位于东升村网箱(养殖年限约20 a),S7取在距离网箱区约1 km处的非养殖区(对照点),采样点位置详见图1。

于2002年4月(春季)、7月(夏季)、10月(秋季)和2003年1月(冬季)共采样4次。采样时尽量考虑到潮周期的变化,某些时刻选择在涨落潮静止时刻。每个季节进行一次周日采样,S3点采样频率为24 h 12次,S6和S7点采样频率为24 h 4次,基本对应采样当日的涨落潮时。用5 L采水器在距离水底0.5 m处采集底层海水,并在现场用YSI多功能水质分析仪(美国Alpkem公司)测定距离水底0.5 m处的水温、盐度、pH和溶解氧(DO)。样品采集后,按《海洋监测规范》^[7]中的方法分析,无规定的采用《海水化学要素调查手册》^[8]中的方法。分析项目包括化学耗氧量(COD)、亚硝酸盐氮(NO₂⁻-N)、硝酸盐氮(NO₃⁻-N)、氨氮(NH₄⁺-N)、溶解无机磷(PO₄³⁻-P)、溶解无机氮(DIN)为NO₂⁻-N、NO₃⁻-N和NH₄⁺-N之和。

2 结果和讨论

2.1 哑铃湾网箱养殖区底层海水水质比较

2002年4月(春季)、7月(夏季)、10月(秋季)和2003年1月(冬季)哑铃湾网箱区及对照点底层海水各水质参数的年平均值的统计结果列于表1。网箱区pH值和DO均略低于对照点,降低幅度分别为0.02~0.05和0.04~0.06 mg/L,东升村

又稍低于养殖中心,降低幅度分别为0.03和0.02 mg/L。在一般海水养殖区,养殖过程中产生的残饵、排粪和排泄物沉积并在底泥表层发生分解,其产物会导致底层海水pH值和DO下降^[9],但在哑铃湾网箱养殖区降低并不明显,说明哑铃湾网箱养殖对底层海水pH和DO的影响较小。

网箱区COD、溶解无机氮和溶解无机磷均高于对照点,东升村又高于养殖中心。其中COD、NO₂⁻-N和NO₃⁻-N增加的幅度较小,NH₄⁺-N、DIN和PO₄³⁻-P增加的幅度较大。网箱区NH₄⁺-N、DIN和PO₄³⁻-P高出对照点54%~144%,东升村高出养殖中心24%~44%,NH₄⁺-N升高的幅度最大。

网箱区与对照点N:P比值(DIN与PO₄³⁻-P原子比,下同)的年平均值为12.1~13.2,低于浮游植物体内元素组成的Redfield比值(16)^[10],也远低于彭云辉等^[2]1999年在大亚湾全湾的研究结果,反映哑铃湾网箱养殖区的氮磷营养盐组成与大亚湾有较大差异,底层海水中磷已过量。这可能与沉积物释磷的机制与氮的释放存在差异有关,沉积物释放的磷除有机质的分解外,埋藏在沉积物中的还原可溶性磷(主要是铁结合磷和铝结合磷)在还原条件下还可以释放出一部分磷^[11],使PO₄³⁻-P的补充量大于DIN。

从DIN和PO₄³⁻-P的含量水平来看,均低于甘居利等^[12]1998夏季在柘林湾网箱养殖区和王宪等^[13]1998年4月至1999年2月在厦门西港网箱养殖区的研究结果。DIN满足我国《海水水标准》(GB3097-1997)^[14]一类标准,PO₄³⁻-P的年平均含量也基本满足一类海水标准(0.0015 mg/L,东升村超一类标准2%),反映大亚湾海域营养盐含量较低的特点。因此,就哑铃湾在调查期内的养殖密度和水动力条件而言,养殖活动对底层海水溶解营养盐含量水平的影响还相对较小。但营养盐的结构已发生转变,磷表现为相对过剩,与大亚湾海域相反。对营养盐相对贫乏的大亚湾海区赤潮发生带来一定风险^[5]。

综上所述,哑铃湾网箱养殖对pH值、DO、COD、NO₂⁻-N和NO₃⁻-N的影响不明显,底层水NH₄⁺-N、DIN和PO₄³⁻-P有不同程度的升高,短期养殖的影响较小,长期养殖的影响明显。使N:P比值降低,该海区营养盐结构的改变,对赤潮发生带来一定风险。

2.2 底层海水营养盐的季节变化

哑铃湾网箱养殖区溶解态营养盐的季节变化情况见图2。网箱区和对照点DIN在春、夏、秋季均

表 1 哑铃湾网箱养殖区底层海水水质比较¹⁾
Tab.1 Bottom water parameters in cage culture area of Yaling Bay

采样点	pH	DO	COD	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	DIN	PO ₄ ³⁻ -P	N:P ²⁾
(mg·L ⁻¹)									
养殖中心	7.82~8.10	4.18~8.79	0.86~1.47	n.d.~0.005	0.009~0.041	0.004~0.107	0.031~0.126	0.0086~0.0159	7.7~17.5
(S3)	7.95±0.13	5.61±2.15	1.26±0.28	0.003±0.002	0.018±0.015	0.046±0.046	0.067±0.042	0.0123±0.0041	12.1±4.3
东升村	7.78~8.08	4.18~8.69	1.01~1.82	n.d.~0.006	0.010~0.043	0.008~0.107	0.051~0.126	0.0067~0.0221	9.5~26.3
(S6)	7.92±0.13	5.59±2.10	1.46±0.37	0.004±0.002	0.020±0.015	0.066±0.042	0.089±0.032	0.0153±0.0072	12.9±7.8
对照点	7.78~8.09	4.25~8.87	0.97~1.41	n.d.~0.004	0.005~0.038	0.001~0.071	0.022~0.083	0.0031~0.0108	6.0~23.7
(S7)	7.97±0.15	5.65±2.17	1.24±0.19	0.002±0.001	0.014±0.016	0.027±0.031	0.043±0.027	0.0073±0.0032	13.2±7.4

1) 各采样点第一行为含量范围，第二行为年平均±1 倍季节平均标准差；2) 为 DIN 与 PO₄³⁻-P 原子比，无量纲。

以 NH₄⁺-N 为主，冬季以 NO₃⁻-N 为主，但 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 含量均较低。春、夏、秋季 DIN 和 NH₄⁺-N 含量的变化规律相近，春、秋季含量较高，夏季含量相对较低；冬季 NH₄⁺-N 在各点均为全年最低，由于 NO₃⁻-N 的贡献，DIN 在养殖中心 and 对照点冬季大于夏季，东升村冬季小于夏季，对照点冬季 DIN 含量还大于秋季。PO₄³⁻-P 的季节变化与 DIN 相近，即春、秋季含量较高，夏、冬季低，但冬季均大于或接近夏季。

溶解态营养盐的上述季节变化反映了养殖区溶解态营养盐的消长特点，与网箱养殖活动和浮游植物生长的季节变化相对应。从春季到秋季，随着养

殖生物个体的长大，投饵量逐渐增加，残饵和养殖生物代谢排出的营养盐也增多。同时，随着海水温度的升高，浮游植物生长也逐渐旺盛，消耗了一部分营养盐。浮游植物对氮的吸收 NO₃⁻-N 优先于 NH₄⁺-N，导致此 3 个季节 NO₃⁻-N 的含量均较低。夏季水温最高，浮游植物生长最旺盛，消耗的溶解态营养盐超过了营养盐的补充量。冬季水温低，浮游植物生长最弱，此时养殖生物已收获，排放的残饵和排泄物也少。营养盐的补充和浮游植物消耗的综合结果，使得冬季和夏季底层海水中 NH₄⁺-N、DIN 和 PO₄³⁻-P 的含量均较低，而春、秋季含量较高，春季最高。

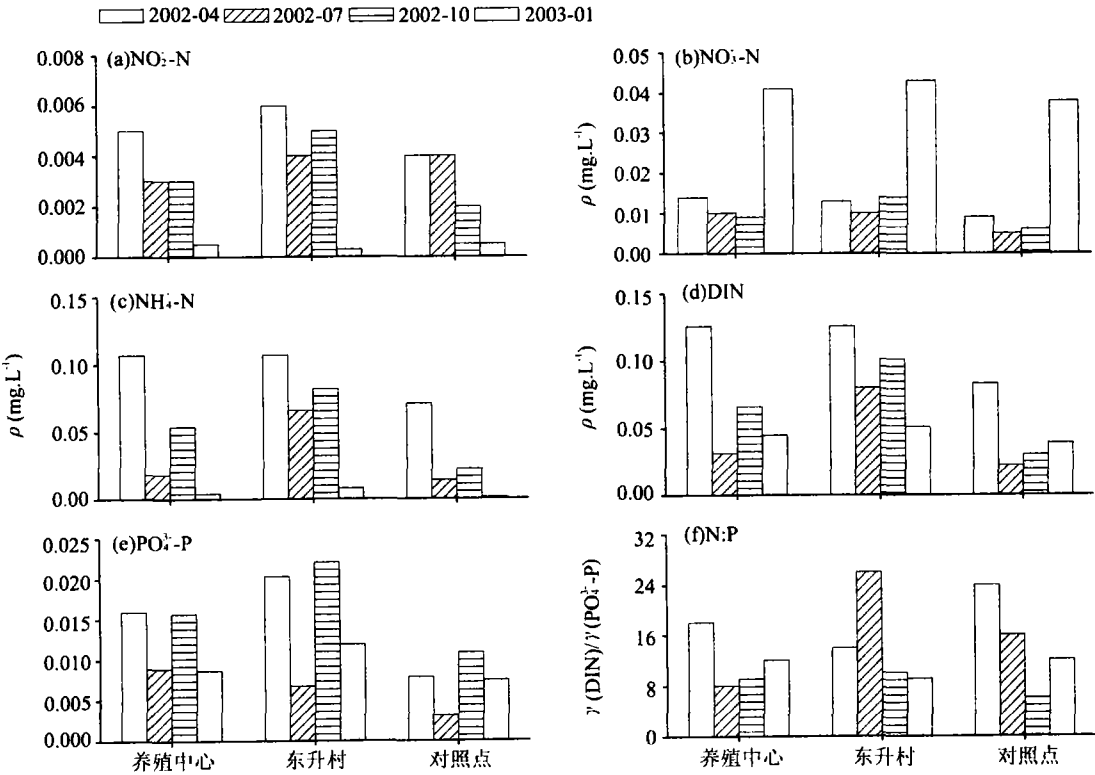


图 2 哑铃湾网箱养殖区底层海水溶解态营养盐的季节变化

Fig.2 Seasonal changes of dissolved nutrients in bottom water in cage culture area of Yaling Bay

2.3 溶解态营养盐之间及其与 COD 的相关性分析

表 2 给出了哑铃湾网箱养殖区底层海水溶解无机氮磷之间及其与 COD 之间的线性相关分析结果。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、DIN 和 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 与 COD 之间的相关性不显著, 但 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 COD 之间正相关的趋势相对较高。反映该海区 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的来源与耗氧有机物关系相对较大, 养殖活动产生的残饵和排泄物进入水体后, 经氧化分解释放出较多的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, 有机物分解耗氧使 DO 下降, 分解产物使 pH 降低 (表 1)。

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、DIN 和 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 相互之间的正相关性相对显著, 说明溶解态氮磷具有相同的来源。孙丽华等^[15]在哑铃湾海区的研究结果显示, 耗氧有机物的氧化分解而获得再生的氮、磷是春季该海域水中氮磷的重要来源之一, 本次调查结果也反映了这一点。网箱区内有较为丰富的耗氧有机物, 使得网箱内底层海水中溶解态氮磷的含量相对较高。

表 2 溶解态营养盐之间及其与 COD 的线性相关分析

Tab.2 Linear correlative analysis of dissolved nutrients with environmental factors (n = 12)				
项 目	回归方程	r	p	
$\text{NH}_4^+\text{-N/COD}$	$\text{NH}_4^+\text{-N} = 0.075 \times \text{COD} - 0.053$	0.530	>0.05	
DIN/COD	$\text{DIN} = 0.041 \times \text{COD} + 0.012$	0.323	>0.05	
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P/COD}$	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P} = 0.004 \times \text{COD} + 0.006$	0.207	>0.05	
$\text{NH}_4^+\text{-N/DIN}$	$\text{NH}_4^+\text{-N} = 1.033 \times \text{DIN} - 0.023$	0.948	<0.01	
$\text{NH}_4^+\text{-N/PO}_4^{3-}\text{-P}$	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P} = 0.096 \times \text{NH}_4^+\text{-N} + 0.007$	0.665	<0.05	
DIN/ $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P} = 0.114 \times \text{DIN} + 0.004$	0.724	<0.01	

2.4 哑铃湾网箱养殖区底层海水的富营养化评价

海水水质状况由多个指标来决定, 国内许多研究者采用营养指数 ($E = \text{COD} (\text{mg/L}) \times \text{DIN} (\mu\text{g/L}) \times \text{DIP} (\mu\text{g/L}) / 1500$) 来研究海域富营养化和有机污染问题^[16], 当营养指数 E 值大于 1 时, 即为富营养化, E 值越大, 富营养化程度越高。哑铃湾网箱养殖区底层海水的营养指数 E 值见图 3。

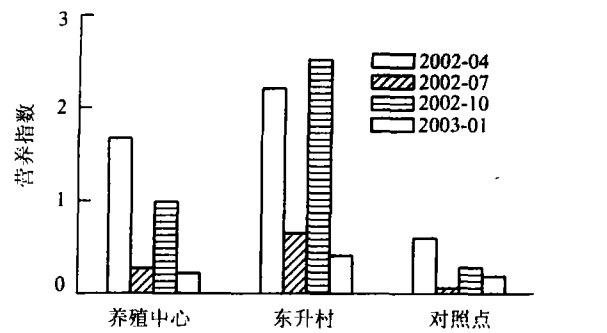


图 3 哑铃湾网箱区及对照点底层海水营养指数
Tab.3 The nutrient indexes in bottom water in cage culture area and reference station in Yaling Bay

由图 3 可知, 对照点 E 值范围在 0.06 ~ 0.6 之间, 年平均值为 0.26, 均小于 1; 养殖中心 E 值范围为 0.22 ~ 1.67, 年平均值为 0.69, 春季 E 值大于 1, 秋季接近于 1, 夏、秋季小于 1; 东升村 E 值范围为 0.41 ~ 2.21, 年平均值 1.32, 年平均和春季 E 值均大于 1, 而且春、秋季 E 值达到 2.21 ~ 2.52, 夏、冬季 E 值则小于 1。从季节变化和年平均值来看, E 值均表现为网箱区大于对照点, 东升村大于养殖中心, 春、秋季大于夏、冬季。表明哑铃湾养殖区底层海水在春、秋两季已达到富营养化水平, 长期养殖的网箱富营养化程度较高, 夏、秋两季水质尚好, 未达到富营养化水平。

3 结 论

(1) 哑铃湾网箱养殖对 pH 值、DO、COD、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的影响不明显, 导致底层水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、DIN 和 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 有不同程度的升高, 短期养殖的影响较小, 长期养殖的影响明显。使 N:P 原子比值降低, 该海区营养盐结构的改变, 对赤潮发生带来一定风险。季节上春、秋季影响较大。

(2) 耗氧有机物的氧化分解是该海区氮、磷营养盐的重要来源之一。

(3) 哑铃湾养殖区底层海水在春、秋两季已达到富营养化水平, 养殖期较长的网箱富营养化程度较高, 夏、秋两季水质尚好, 未达到富营养化水平。

参考文献:

[1] 郑爱榕,沈海维,刘景欣,等.大亚湾海域低营养盐维持高生产力的机制探讨 I [J].海洋科学,2001,25(11):48-52.

[2] 彭云辉,孙丽华,陈浩如,等.大亚湾海区营养盐的变化及富营养化研究[J].海洋通报,2002,21(3):44-49.

[3] 林祖享,梁舜华.探讨影响赤潮的物理因子及其预报[J].海洋环境科学,2002,21(2):1-5.

[4] BENITTEZ-NELSON C R.The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems [J].Earth-Science Reviews, 2000,51:109-135.

[5] 王朝晖,齐雨藻,李锦蓉,等.大亚湾养殖区营养盐状况分析与评价[J].海洋环境科学,2004,23(2):25-28.

[6] 徐恭昭.大亚湾环境与资源[M].合肥:安徽科学技术出版社,1989.

[7] 中华人民共和国海洋局.海洋监测规范(第 4 部分:海水分析)(GB 17378.4-1998) [Z].北京:中国标准出版社,1998.

[8] 韩舞鹰.海水化学要素调查手册[M].北京:海洋出版社,1986.

- [9] 郭锦宝. 化学海洋学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1997.
- [10] SMITH S V. Phosphorus Versus nitrogen limitation in the marine environment[J]. *Limner, Oclanogr*, 1984, 29(1): 1149 - 1160.
- [11] HOLMER M. The effect of oxygen depletion on anaerobic organic matter degradation in marine sediments[J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, 1999, 48: 383 - 390.
- [12] 甘居利, 林钦, 李纯厚, 等. 柘林湾网箱养殖场不同区域环境因子的强度变化[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版)[J]. 2000, 20(1): 18 - 22.
- [13] 王宪, 邱海源, 郑盛华. 厦门西港网箱养殖区底层水体污染状况分析[J]. 台湾海峡, 2003, 22(3): 325 - 327.
- [14] 中华人民共和国环境保护局. 海水水质标准(GB3097 - 1997) [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [15] 孙丽华, 王肇鼎, 彭云辉. 大亚湾海域水中各种形态磷的研究[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(4): 19 - 23.
- [16] 陈于望, 王宪, 蔡明宏. 湄洲湾海域营养盐状评价[J]. 海洋环境科学, 1999, 18(3): 39 - 42.

Distribution and Assessment of Dissolved Nutrients in Bottom Water at Cage Culture Area in Yaling Bay

WEI Xian-ge¹, WEN Yan-mao¹, WANG Weng-qiang¹, JIA Huo-lei^{1,2}, XU Xin-rong¹

(1. Department of Environmental Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. South China Sea Marine Engineering and Environment Institute, South China Branch, SOA, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Based on the field investigation over bottom water at cage culture area, Yaling Bay from April 2002 to January 2003, the concentration difference and seasonal change in dissolved nitrogen and phosphorus of bottom water at cage culture area and reference station were analyzed. The dissolved nitrogen and phosphorus concentrations were linearly correlated with environment factors; and the eutrophication level of bottom water at cage culture area was assessed. The results showed that pH, DO, COD, NO_2^- -N and NO_3^- -N in bottom water were not markedly affected by culturing, while NH_4^+ -N, DIN and PO_4^{3-} -P were more obviously influenced, and were influenced severer by long-term culture than by short-term culture at the cage culture area of Yaling Bay. The decrease in N:P ratio contributed to the occurrence of red tide at the cage culture area. The bottom water was eutrophic in Spring and Autumn, and the degree of eutrophication was positively correlated with culturing period.

Key words: nitrogen; phosphorus; cage culture; bottom water; Yaling Bay