

# 哑铃湾网箱养殖对水环境的影响

舒廷飞<sup>1</sup>, 温琰茂<sup>2</sup>, 贾后磊<sup>3</sup>, 徐昕荣<sup>2</sup>, 王文强<sup>2</sup>, 杨蕾<sup>2</sup>

(1. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275; 3. 国家海洋局南海分局海洋环境监测中心, 广州 510275)

摘要: 2002-04 ~ 2003-01 对哑铃湾不同网箱养殖区水质和底泥的实地监测调查和分析表明, 哑铃湾网箱养殖对环境的影响主要是: ①使得养殖水环境中营养盐、BOD、COD、有机质和 TSS 增加, 尤其是  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  和  $\text{NH}_3\text{-N}$  增加更为明显; ②使得底泥沉积物中 N、P、硫化物、有机质等大量富集, 其中富集现象最明显的是 P、硫化物和  $\text{NH}_3\text{-N}$ , 其次是 TN 和有机质。

关键词: 哑铃湾; 网箱养殖; 水环境; 氮; 磷; 营养盐

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2004)05-0097-05

## Influence of Cage Culture in Yaling Bay on Water Environment

SHU Ting-fei<sup>1</sup>, WEN Yan-mao<sup>2</sup>, JIA Hou-lei<sup>3</sup>, XU Xin-rong<sup>2</sup>, WANG Wen-qiang<sup>2</sup>, YANG Lei<sup>2</sup>

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China; 3. South China Sea Environmental Monitoring Center, SOA, Guangzhou 510275)

**Abstract:** On the basis of on-the-spot survey and analysis of water quality and bed mud in different cage culture section from April of 2002 to January of 2003, the analysis result indicate that the main influence of cage culture on environment are that: ① It increase the content of nutrition salt, BOD, COD, organic matter and TSS, especially inorganic nitrogen, inorganic phosphor and ammonia nitrogen; ② It enrich N, P, sulphide and organic matter in sediment. The most obvious is nitrogen, sulphide and ammonia nitrogen, next is total nitrogen and organic matter.

**Key words:** Yaling Bay; cage culture; water environment; N; P; nutrition salt

近十几年来,随着水产养殖技术的不断提高,海水网箱养殖在我国沿海地区也迅速地发展起来。但是,由于网箱养殖多是采取高密度的投饵养殖,未食的残饵以及养殖体的排泄物等会使养殖水体出现富营养化,进而引发赤潮等一系列的问题<sup>[1-3]</sup>,国内外已有不少学者从不同角度对其进行了研究<sup>[4-6]</sup>,但是,对不同养殖年限一个养殖周期(一年)内 4 个季度进行完整的比较研究,目前仍然没有见到相关报道。而开展这方面的调查研究,对于系统地掌握和了解网箱养殖对水环境的影响机理和理论分析,指导当地水产养殖产业发展和保护水环境,无疑是十分重要的。

哑铃湾目前网箱养殖一年的产量约为 2000t, 养殖类型主要有: 红鳍笛鲷(占养殖总量的 50%), 花尾胡椒鲷(20%), 美国红鱼(10%), 斜带石斑(5%)和紫红笛鲷(5%)。投喂的饵料来源于海上打捞的下杂鱼, 主要成分为水分, 占 70% 以上, 其他成分以蛋白为主, 其含量平均约为 15.28%, 磷的含量为 0.42% 左右, 氮的含量约 2.45%。该海域网箱养殖的饵料系数为 6~8, 饵料的利用率十分低。而养殖区一般都位于风平浪静的地方, 水体交换不良, 因

此,大量的投饵和养殖体排泄物沉积停留,严重污染了养殖水环境。

### 1 采样及项目分析

(1) 采样时间 2002-04-28 ~ 29; 2002-07-12 ~ 13; 2002-10-18 ~ 19; 2003-01-10 ~ 11。

(2) 采样地点 本研究采样地点选在哑铃湾 3 个不同网箱养殖区: 东升村养殖区, 养殖年限大于 8a; 养殖中心养殖区, 养殖年限为 4~6a; 对照区, 非养殖区。3 个区都距离海岸较远, 周围没有岸边径流或污染源输入, 且彼此之间都有一定距离, 不存在交叉污染。

(3) 分析项目 水质(包括部分水文): BOD、COD、TN、溶解态总氮(DTN)、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、TP、溶解态总磷(DTP)、正磷酸盐( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )、总有机碳(TOC)、溶解态有机碳(DOC)、悬浮物(TSS)、pH 值、电导率( $\sigma$ )、溶解氧(DO)、水

收稿日期: 2003-10-28; 修订日期: 2003-12-10

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(2000-026-424027)

作者简介: 舒廷飞(1974~), 男, 广西百色人, 博士, 主要研究方向为水环境和生态城市规划。

温( $t$ )、盐度( $S$ )、底泥:TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、TP和底泥有机质、含水率以及硫化物。

(4) 监测仪器和分析方法 采水器为武汉水生所生产的5L有机玻璃分层采水器,底泥主要用抓斗采集。采水样带回实验室并按《海水水质标准》<sup>[7]</sup>、《海水化学要素调查手册》<sup>[8]</sup>、《海洋调查规范》<sup>[9]</sup>对水样中BOD、COD、TN、DTN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、TP、DTP、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、TOC、DOC、TSS各种水化学因子进行测试分析,另外,用多功能水质分析仪(美国Alpkem公司生产)现场测定 $t$ 、 $S$ 、pH值、 $\gamma$ 和DO。所有底泥采集后冷冻,然后按《海

洋调查规范》<sup>[9]</sup>、《土壤农业化学常规分析方法》<sup>[10]</sup>、《土壤理化分析》<sup>[11]</sup>中相关的方法分析底泥TN、交换态 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、交换态 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、TP、有机质、含水率和硫化物的含量。

## 2 结果分析讨论

### 2.1 网箱养殖对海水环境的影响

经过实地采样和监测,得到哑铃湾几个养殖区不同季节各水化学要素的平均值和变化范围(见表1~表4)。根据这些结果,哑铃湾网箱养殖对该海域水环境的影响可概括为:

表1 春季(4月)哑铃湾网箱养殖区与对照区各水化学要素特征/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 1 The characteristics of hydrochemistry in Yaling Bay different cage culture area and contrast area in spring/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项目	东升村	养殖中心	对照点
	平均值(范围)	平均值(范围)	平均值(范围)
BOD	0.872(0.140~1.440)	0.993(0.290~1.710)	0.691(0.240~1.140)
COD	1.295(1.170~1.470)	1.450(1.290~1.740)	1.133(0.690~1.410)
TN	0.279(0.218~0.321)	0.303(0.259~0.338)	0.248(0.220~0.304)
DTN	0.227(0.194~0.266)	0.205(0.147~0.259)	0.199(0.178~0.230)
$\text{NH}_3\text{-N}$	0.107(0.092~0.115)	0.097(0.064~0.159)	0.080(0.058~0.102)
$\text{NO}_3\text{-N}$	0.013(0.011~0.015)	0.014(0.011~0.020)	0.012(0.010~0.017)
$\text{NO}_2\text{-N}$	0.0058(0.0050~0.0070)	0.0050(0.0040~0.0060)	0.0035(0.0020~0.0060)
TP	0.0352(0.0323~0.0391)	0.0316(0.0203~0.0467)	0.0218(0.0113~0.0375)
DTP	0.0271(0.0253~0.0289)	0.0187(0.0095~0.0345)	0.0125(0.0062~0.0298)
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	0.0203(0.0160~0.0274)	0.0153(0.0055~0.0292)	0.0081(0.0025~0.0201)
TOC	3.698(2.710~4.950)	3.285(2.630~4.220)	3.245(2.700~3.870)
DOC	2.188(1.710~2.720)	1.868(1.220~2.130)	2.098(2.020~2.120)
TSS	1.114(0.871~1.285)	1.208(1.037~1.351)	0.990(0.880~1.214)
pH值	7.85(7.82~7.92)	7.84(7.77~7.91)	7.95(7.91~8.02)
$\gamma$	49.8(49.8~49.8)	49.7(49.6~49.8)	49.8(49.7~49.9)
DO	5.02(4.94~5.11)	5.00(4.95~5.10)	5.04(5.02~5.07)
$t/^\circ\text{C}$	25.7(25.5~26.1)	25.6(25.5~25.8)	25.6(25.5~25.9)
S	35.2(35.1~35.2)	35.2(35.1~35.2)	35.2(35.1~35.3)

表2 夏季(7月)哑铃湾网箱养殖区和对对照区各水化学要素特征/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 2 The characteristics of hydrochemistry in Yaling Bay different cage culture area and contrast area in summer/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项目	东升村	养殖中心	对照点
	平均值(范围)	平均值(范围)	平均值(范围)
BOD	1.465(1.160~2.050)	2.108(1.990~2.270)	1.330(1.290~1.380)
COD	1.820(1.550~2.220)	1.500(1.230~1.950)	1.358(1.080~1.540)
TN	0.376(0.253~0.550)	0.371(0.324~0.423)	0.248(0.219~0.280)
DTN	0.285(0.158~0.448)	0.278(0.205~0.325)	0.194(0.165~0.228)
$\text{NH}_3\text{-N}$	0.066(0.012~0.100)	0.020(0.014~0.032)	0.009(0.007~0.011)
$\text{NO}_3\text{-N}$	0.010(0.006~0.014)	0.016(0.009~0.030)	0.006(0.004~0.008)
$\text{NO}_2\text{-N}$	0.0038(0.0030~0.0040)	0.0035(0.0030~0.0040)	0.0024(0.0014~0.0032)
TP	0.0345(0.0309~0.0412)	0.0334(0.0264~0.0432)	0.0175(0.0124~0.0258)
DTP	0.0227(0.0154~0.0234)	0.0189(0.0154~0.0214)	0.0098(0.0080~0.0145)
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	0.0064(0.0016~0.0153)	0.0070(0.0043~0.0101)	0.0017(0.0009~0.0026)
TOC	3.901(2.940~4.890)	3.041(2.690~3.330)	2.802(1.860~3.710)
DOC	2.502(1.840~3.450)	2.101(1.230~3.210)	2.371(1.780~2.710)
TSS	41.412(25.600~58.706)	39.231(19.511~73.513)	24.812(17.421~28.914)
pH值	7.89(7.82~7.95)	7.92(7.91~7.94)	7.95(7.87~8.03)
$\gamma$	48.7(48.6~48.7)	48.7(48.5~48.8)	48.8(48.6~48.9)
DO	4.12(4.01~4.22)	4.13(4.05~4.19)	4.18(3.99~4.40)
$t/^\circ\text{C}$	30.2(29.8~31.0)	30.0(29.6~30.7)	30.0(29.4~31.3)
S	34.4(34.4~34.4)	34.4(34.3~34.5)	34.4(34.3~34.5)

表 3 秋季(10月)哑铃湾网箱养殖区和对照区各水化学要素特征/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Table 3 The characteristics of hydrochemistry in Yaling Bay different cage culture area and contrast area in autumn/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 

项目	东升村	养殖中心	对照点
	平均值(范围)	平均值(范围)	平均值(范围)
BOD	0.335(0.070~0.890)	0.320(0.010~0.780)	0.223(0.060~0.510)
COD	1.698(1.360~2.180)	1.520(1.150~1.910)	1.340(1.140~1.870)
TN	0.434(0.338~0.662)	0.549(0.405~0.658)	0.239(0.215~0.294)
DTN	0.343(0.301~0.408)	0.361(0.314~0.454)	0.206(0.170~0.274)
$\text{NH}_3\text{-N}$	0.082(0.054~0.136)	0.089(0.035~0.149)	0.020(0.007~0.035)
$\text{NO}_3\text{-N}$	0.014(0.009~0.018)	0.011(0.008~0.016)	0.007(0.006~0.008)
$\text{NO}_2\text{-N}$	0.0053(0.0040~0.0080)	0.0043(0.0030~0.0050)	0.0016(0.0007~0.0025)
TP	0.0483(0.0347~0.0687)	0.0437(0.0359~0.0512)	0.0181(0.0119~0.0203)
DTP	0.0361(0.0246~0.0459)	0.0278(0.0212~0.0358)	0.0091(0.0058~0.0146)
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	0.0221(0.0094~0.0369)	0.0170(0.0101~0.0268)	0.0061(0.0038~0.0077)
TOC	2.100(1.890~2.420)	3.360(2.000~6.270)	2.770(2.060~2.820)
DOC	1.788(1.563~2.101)	2.783(1.312~4.740)	2.495(1.811~2.513)
TSS	8.325(6.210~11.711)	9.200(8.800~10.100)	8.600(6.600~11.500)
pH 值	7.94(7.92~7.96)	7.98(7.93~8.06)	8.06(8.04~8.11)
$r$	44.7(44.6~44.9)	44.8(44.6~44.9)	45.1(45.0~45.2)
DO	4.48(4.44~4.55)	4.47(4.43~4.52)	4.47(4.45~4.49)
$t/\text{ }^\circ\text{C}$	27.7(27.5~28.1)	27.6(27.4~27.9)	27.7(27.5~28.0)
S	31.5(31.3~31.7)	31.6(31.5~31.7)	31.8(31.7~31.9)

表 4 冬季(1月)哑铃湾网箱养殖区和对照区各水化学要素特征/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Table 4 The characteristics of hydrochemistry in Yaling Bay different cage culture area and contrast area in winter/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 

项目	东升村	养殖中心	对照点
	平均值(范围)	平均值(范围)	平均值(范围)
BOD	2.200(1.630~2.730)	1.380(0.850~1.880)	2.220(1.290~2.930)
COD	1.010(0.730~1.570)	1.070(0.770~1.340)	1.000(0.840~1.340)
TN	0.285(0.279~0.292)	0.322(0.287~0.387)	0.254(0.208~0.322)
DTN	0.200(0.108~0.259)	0.238(0.200~0.260)	0.167(0.138~0.193)
$\text{NH}_3\text{-N}$	0.008(0.001~0.012)	0.003(0.000~0.005)	0.002(0.000~0.004)
$\text{NO}_3\text{-N}$	0.043(0.035~0.047)	0.044(0.039~0.047)	0.037(0.028~0.049)
$\text{NO}_2\text{-N}$	0.0003(0.0001~0.0006)	0.0005(0.0002~0.0007)	0.0004(0.0002~0.0005)
TP	0.0245(0.0223~0.0267)	0.0224(0.0206~0.0243)	0.0209(0.0183~0.0222)
DTP	0.0197(0.0170~0.0217)	0.0169(0.0136~0.0192)	0.0158(0.0151~0.0165)
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	0.0119(0.0100~0.0135)	0.0087(0.0067~0.0117)	0.0075(0.0064~0.0083)
TOC	2.530(1.380~3.970)	2.410(1.950~2.850)	2.120(1.600~2.720)
DOC	2.070(1.090~3.230)	2.250(1.800~2.630)	1.920(1.490~2.540)
TSS	15.400(11.700~19.500)	21.150(12.050~40.300)	11.980(10.600~13.100)
pH 值	8.08(8.06~8.10)	8.11(8.08~8.12)	8.10(8.07~8.12)
$r$	50.1(49.9~50.2)	50.1(49.9~50.2)	50.2(50.0~50.3)
DO	8.75(8.65~8.93)	8.75(8.65~8.87)	8.89(8.74~9.10)
$t/\text{ }^\circ\text{C}$	14.3(13.9~14.5)	13.7(13.3~13.9)	14.0(13.6~14.4)
S	35.0(34.9~35.0)	34.9(34.8~35.0)	35.1(35.0~35.1)

(1) BOD、COD 和 DO 该海域网箱养殖对 BOD、COD 在冬季影响很小,几个不同养殖区差别不是很大,而在春季、秋季,特别是夏季,差别比较明显,养殖区比对照点高约 1.2~1.5 倍.对于 DO,几个不同养殖区在春季和秋季差别不是很明显,而在

夏季和冬季,均是对照点略低于养殖区.

(2) pH 值、 $t$ 、 $r$  和 S 哑铃湾海域网箱养殖 4 个季度对  $t$ 、S、 $r$  的影响都不大,而对于 pH 值,基本上都是养殖区稍低于对照区.

(3) N 对于 TN、DTN,4 个季度均是养殖区大

于对照区,而且这种差异在秋季最大;对于  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,基本上也是东升村 > 养殖中心 > 对照点,特别是夏季、秋季,养殖区的  $\text{NH}_3\text{-N}$  约是对照区的 3 ~ 6 倍;对于  $\text{NO}_3\text{-N}$  来说,基本上是养殖区略高于对照点,这种差异在 4 个季节都不是很明显;对于  $\text{NO}_2\text{-N}$  来说,除了冬季以外,都是东升村 > 养殖中心 > 对照点,这种差异在春季和秋季要比夏季明显。

(4) P 哑铃湾网箱养殖对该海域 P 的影响主要是使水中 TP、DTP 和  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  含量增加,而且趋势均是东升村 > 养殖中心 > 对照点,这说明,随着养殖年限的增加,水体中 P 的含量也相应增加,这种增加对于  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  最为明显,特别是春季、夏季和秋季,养殖区  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  是对照区的 2 ~ 4 倍。

(5) C 对于 TOC,在春、夏、冬季,东升村 > 养殖中心 > 对照点,但在数值上的差异很小,而在秋季,是养殖中心 > 对照点 > 东升村;对于 DOC 来说,3 个区 4 个季节的变化都没有什么规律,这说明,网箱养殖对水中 TOC、DOC 的影响不大。

## 2.2 网箱养殖对底泥环境的影响

表 5 ~ 表 8 分别列出了哑铃湾 3 个不同养殖区 4 个季节底泥环境中各监测要素的含量:

(1) 有机质 年平均空间变化情况是东升村含量大于对照区和养殖中心,数值上大约为 1.5 ~ 2.0 倍,这种增量在季节上的变化不是很大。这说明短期网箱养殖对底泥环境中有机质的影响不大,而长期养殖会造成底泥环境中有机质含量的增加,而且这种增加在季节变化上差异不是很明显。

(2) 硫化物 4 个季度的空间变化情况是东升村 > 养殖中心 > 对照点,年平均东升村是对照点的 12 倍左右,养殖中心约为对照点的 3 倍,分别比我国海岸带底质评价标准( $300 \times 10^{-6}$ ) 高出 5 倍和 1.5 倍,说明这 2 个养殖区底泥环境已经恶化,而且这种差异在季节上变化很大,在春季和夏季,东升村底泥硫化物的含量比对照点高 20 倍以上,而在秋季和冬季,只有 4 倍左右。主要原因是硫酸盐还原菌对水中硫酸盐的还原作用而放出  $\text{H}_2\text{S}$ 。诱发硫酸盐还原菌的活性主要依靠底泥中高含量的有机质和偏高的水温,在 10 ~ 30 °C 水温越高硫酸盐还原菌繁殖越快<sup>[12]</sup>。由于养殖直接投饵使得网箱底部沉积大量有机物,在较高温度条件下硫酸盐还原菌大量繁殖,从而导致该区域底泥中含硫量剧增。由此可知,网箱养殖造成养殖区底泥沉积物环境中硫化物的大量富集,尤其是在水温较高的春季和夏季,底泥中硫化物的含量更是剧增,而且这种富集的作用随着养殖年

限的增加,表现得也更明显。

(3) N 空间变化趋势基本上养殖区大于对照点,从年平均来看,养殖区含量约是对照点的 1.5 ~ 2.0 倍。对于底泥中  $\text{NH}_3\text{-N}$  的含量来说,4 个季节空间变化趋势基本上是东升村 > 养殖中心 > 对照点,年平均东升村是对照点的 6 倍左右,养殖中心约为对照点的 2 倍左右,而且这种变化在季节上差异很大,在春季,几个区底泥中  $\text{NH}_3\text{-N}$  的含量差别不是很大,但在夏季、秋季和冬季,东升村和养殖中心的含量分别是对照点的 10 倍和 3 倍左右。对于底泥中  $\text{NO}_3\text{-N}$  的含量,从平均状况来看,春季是对照区高于养殖区,而夏季、秋季和冬季却是养殖区高于对照区。因此,网箱养殖对底泥中 N 含量的主要影响是使得养殖区 N 含量高于对照区,尤其是  $\text{NH}_3\text{-N}$  的含量,而且随着养殖年限的增加,养殖区底泥中  $\text{NH}_3\text{-N}$  也相应增加,这种增加在季节上主要是夏季、秋季和冬季,春季增加得并不明显。

(4) P 4 个季节空间上的变化情况是东升村 > 养殖中心 > 对照点,年平均东升村是对照点的 19 倍左右,养殖中心约为对照点的 8 倍,而且这种差异在季节上变化不大。由此可见,网箱养殖会造成养殖区底泥中 P 的大量富集,这种富集在季节变化上差异不明显,而且随着养殖年限的增加,这种富集现象越严重。

(5) 含水率 4 个季度几个区底泥含水率的差异都不是很大,只是东升村略高于对照点和养殖中心 10% 左右。这说明,网箱养殖对底泥含水率的影响不是很大。

表 5 春季(4月)哑铃湾 3 个区表层沉积  
各监测要素含量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

Table 5 The monitoring factors content of surface  
sediment in Yaling Bay in spring/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

采样点	有机质 / %	TN	TP	硫化物	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	含水率 / %
东升村	2.98	2067.60	64.12	2375.56	98.20	2.85	75.66
养殖中心	3.08	1395.11	719.23	352.42	59.18	2.92	57.00
对照点	3.14	1582.93	82.00	168.23	69.49	3.03	63.93

表 6 夏季(7月)哑铃湾 3 个区表层沉积物  
各监测要素含量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

Table 6 The monitoring factors content of surface sediment in  
Yaling Bay in summer/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

采样点	有机质 / %	TN	TP	硫化物	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	含水率 / %
东升村	5.16	3649.00	1477.01	2371.86	352.88	2.36	77.01
养殖中心	2.95	4898.80	401.37	590.99	75.90	1.37	61.76
对照点	2.56	1898.57	87.56	101.71	32.27	1.67	66.32

表 7 秋季(10月)哑铃湾 3 个区表层沉积物  
各监测要素含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 7 The monitoring factors content of surface sediment  
in Yaling Bay in autumn/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

采样点	有机质 / %	TN	TP	硫化物	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	含水率 / %
东升村	5.31	3895.16	1484.19	414.85	384.48	9.47	80.39
养殖中心	2.95	1592.22	840.72	364.71	91.64	5.63	64.78
对照点	3.32	2399.89	97.36	90.52	40.87	5.20	65.65

表 8 冬秋(1月)季哑铃湾 3 个区表层沉积物  
各监测要素含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 8 The monitoring factors content of surface sediment in  
Yaling Bay in winter/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

采样点	有机质 / %	TN	TP	硫化物	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	含水率 / %
东升村	5.84	6616.27	1749.24	393.22	203.02	3.25	79.47
养殖中心	3.82	2671.69	659.03	109.85	84.67	2.60	78.85
对照点	2.60	1131.98	80.97	108.63	23.19	1.83	74.51

### 3 结论

(1) 哑铃湾网箱养殖对水环境的影响主要是:使养殖水体中营养盐、BOD、COD、有机质和 TSS 增加,尤其是养殖水体中的  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  和  $\text{NH}_3\text{-N}$ ;这种增加在季节上的特点是在夏季和秋季,  $\text{NH}_3\text{-N}$  增量最大,是对照区的 2~5 倍,在春季、夏季和秋季,  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  的增量最大,是对照区的 2~3 倍,而且,随着养殖年限的增加,养殖水体中营养盐、BOD、COD、有机质和 TSS 也都不同程度地增加,特别是 P,随着养殖年限的变长增加得最为显著;使得养殖水环境中 pH 值比对照区略微降低;对 DO 的影响主要是在夏季和冬季,使得该季节养殖水体中 DO 比对照区偏低,而在春季和秋季,该区域网箱养殖对 DO 无明显影响;该海域网箱养殖对水环境中的水温、盐度、电导率几乎没有影响。

(2) 哑铃湾网箱养殖对底泥环境的影响主要是引起底泥沉积物中 N、P、硫化物、有机质等的富集,其中 P、硫化物和  $\text{NH}_3\text{-N}$  的富集最明显,而且随着养殖年限的增加,这几种物质的富集就越严重,这种富集作用在季节上的变化是硫化物在春季和夏季最明显,  $\text{NH}_3\text{-N}$  是夏季、秋季和冬季最明显,而 P 的几个季节差别不是很大;TN 和有机质的富集现象仅次于 P、硫化物和  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,它们的含量平均养殖区约比对照区高 1.5~2 倍。网箱养殖对底泥中  $\text{NO}_3\text{-N}$  和含水率的影响不是十分明显。

参考文献:

- [1] 董双林,潘克厚.海水养殖对沿岸生态环境影响的研究进展[J].青岛海洋大学学报,2000,30(4):575~589.
- [2] Wallin M, Hakason L. Nutrient loading models for estimating the environmental effects of marine fish farms[A]. In: Makinen T Copenhagen. Marine Aquaculture and Environment[C]. Nordic council of ministers, 1991,(22):39~55.
- [3] Wu R S S. The environmental impact of marine fish culture: Towards a sustainable future[J]. Marine Pollution Bulletin, 1995, 31:159~166.
- [4] Cornel G E, Whoriskey F G. The effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos and sediments of Lac du Passage[J]. Quebec. Aquaculture, 1993, 109:101~127.
- [5] 吴庆龙,陈开宁,高光,等.大水面网围精养对水环境的影响及其对策[J].水产学报,1995,19(4):343~349.
- [6] 彭云辉,王肇鼎,高红莲,等.大亚湾大鹏澳养殖网箱水体无机氮的生物地球化学[J].海洋通报,2001,(2):16~24.
- [7] GB3097-1997,海水水质标准[S].
- [8] 韩舞鹰.海水化学要素调查手册[M].北京:海洋出版社,1986.112~157.
- [9] GB12763-98.海洋调查规范[S].
- [10] 中国土壤学会农业化学专业委员会.土壤农业化学常规分析方法[M].北京:科学出版社,1983.34~58.
- [11] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978.56~89.
- [12] 何国民,卢婉嫫,刘豫广,等.海湾网箱渔场老化特征分析[J].中国水产科学,1997,4(5):76~80.