

文章编号: 1674-5566(2014)02-0228-10

三沙湾海域水质周年变化分析与评价

邵 留¹, 于克锋¹, 吴海龙¹, 霍元子¹, 何 青¹, 沈盎绿²

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 水域环境生态上海高校工程研究中心, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院东海水产研究所 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090)

摘 要: 2009 年 5 月至 2010 年 5 月对福建三沙湾海域进行了周年的布点采样, 共设 20 个站位, 8 个航次, 调查内容涵盖海域的营养盐及常见水质指标。结果表明: 从季节变化上来看, 三沙湾海域春季水质最好, 各站位水质指标基本符合海水二类水质, 营养级别为贫营养; 夏季各站位水体无机氮含量较低, 但水中活性磷酸盐浓度普遍高于 0.045 mg/L, 为氮限制潜在性富营养化水体; 秋季各站位活性磷酸盐浓度和无机氮浓度普遍高于夏季, 大部分站位活性磷酸盐浓度在 0.06 mg/L 以上, 部分区域的无机氮含量甚至超过 0.6 mg/L, 为氮中等限制潜在性富营养化水体; 冬季绝大多数站位的水质均满足海水三类水标准, 水体营养级别为中度营养; 从空间分布上来看, 三都岛以西区域, 网箱养殖大黄鱼等居多, 水质较差, 三都岛以东区域, 海带养殖较多, 水质较好。湾口区至湾顶部溶解氧呈下降趋势。

研究亮点: 设立了 20 个站位, 8 个航次对三沙湾养殖海域进行了周年的布点采样, 调查区域覆盖整个三沙湾养殖海域, 调查内容全面系统。在系统分析检测数据的基础上, 采用新型海域营养级别评价标准对三沙湾海域进行了水质评价, 该评价方法综合考虑了 N、P 对浮游植物的限制作用, 突出营养盐限制对海域富营养化的影响。为今后三沙湾海域养殖网箱的合理调整, 海域的环境保护提供参考依据。

关键词: 三沙湾; 养殖区; 富营养化; 水质评价

中图分类号: S 912

文献标志码: A

三沙湾(由东吾洋、官井洋和三都澳等几个部分组成)位于福建省东北部沿海, 海岸线曲折, 海域内分布了许多岛屿, 水动不活跃, 为海洋生物的生长、繁殖提供了十分有利的条件。20 世纪 80 年代, 三沙湾官井洋被批准为大黄鱼自然保护区, 紧接着“大黄鱼人工繁育及其养殖技术”难题破解, 三沙湾海上水产养殖业迅速发展, 成为全国最大的大黄鱼网箱养殖地区^[1]。该海区的水质状况直接关系到当地水产养殖业的发展, 对当地经济发展至关重要。近年来, 由于经济利益驱动和海洋管理相对滞后, 不断有养殖户加入到这一行业, 使得该海域网箱数量迅速超过养殖区海域的负荷。海域网箱养殖的无序和盲目扩张, 造成养殖区密度过大, 海水富营养化。海产品的大

量养殖一方面消耗海水中的溶解氧(DO), 使水体处于低氧或缺氧状态, 这在夏季表现得特别明显, 常引起批量缺氧死鱼现象; 另一方面易引发病害, 养殖鱼常因突发疾病呈现不同程度的死亡。因此, 对海域尤其养殖区的环境监测和研究已引起了人们的普遍关注。

目前, 对于三沙湾海域系统的理论研究却略显滞后。仅有部分学者对三沙湾局部海域的营养盐、浮游动物和沉积物中营养盐成分进行过研究^[2-5]。覆盖整个三沙湾海域的调查研究较少^[6-7]。因此, 有必要对三沙湾海域水环境展开全面系统的调查, 为今后该海域养殖网箱的合理调整, 海域的环境保护提供参考依据。

收稿日期: 2013-12-02 修回日期: 2014-01-08

基金项目: 上海市自然科学基金(12ZR1444900); 上海市教委第五期重点学科(海洋生物学)(J50701); 海洋公益性行业科研专项(201105023)

作者简介: 邵 留(1980—), 女, 讲师, 博士, 研究方向为水域生态修复。E-mail: l-shao@shou.edu.cn

通信作者: 沈盎绿, E-mail: shenanglv@163.com

1 调查与方法

1.1 采样时间与地点

2009年5月至2010年5月期间在三沙湾周边海域进行密集的采样调查,共设立20个调查站位(图1),站位基本覆盖了整个三沙湾海域,但不同站位养殖类型存在一定差异(表1)。调查期间共设立8个航次,每个季节分别采样2个航次。季节的划分如下:3-5月为春季,6-8月为夏季,9-11月为秋季,12-2月为冬季。

1.2 监测项目

监测项目包括:无机氮(DIN)主要包括氨氮(NH_4^+-N)、亚硝酸盐(NO_2^--N)、硝酸盐氮(NO_3^--N)、活性磷酸盐($\text{PO}_4^{3--}\text{P}$),同时现场同步获取DO、盐度、温度、pH、电导率(EC)和总悬

浮颗粒物(TDS)等环境参数。调查站位经纬度、水深、盐度和养殖模式等见表1。

1.3 分析方法

所有样品采集和分析均按海洋监测规范(GB17378—2007)执行^[8]。

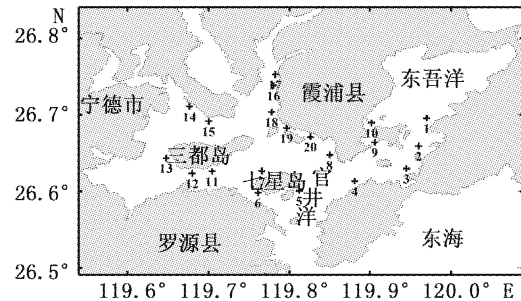


图1 三沙湾海域采集站位图

Fig. 1 Study area and location of sampling stations in Sansha Bay

表1 采集站位经纬度、水深和养殖品种

Tab. 1 Localities of the sampling stations in Sansha Bay with depth and aquaculture species

站位	经度/°	纬度/°	水深/m	养殖品种	站位	经度/°	纬度/°	水深/m	养殖品种
1	119.97	26.70	14.9 ± 2.1	大黄鱼、鲍鱼	11	119.71	26.63	11.6 ± 2.1	无养殖
2	119.96	26.66	8.3 ± 3.5	海带	12	119.68	26.62	5.8 ± 1.0	大黄鱼
3	119.94	26.63	8.1 ± 1.5	大黄鱼	13	119.65	26.64	4.6 ± 0.7	大黄鱼
4	119.88	26.61	10.4 ± 1.7	无养殖	14	119.68	26.71	14.4 ± 1.4	大黄鱼
5	119.81	26.60	13.9 ± 1.7	大黄鱼、海带	15	119.70	26.69	7.8 ± 1.3	大黄鱼
6	119.76	26.60	5.6 ± 1.8	大黄鱼	16	119.78	26.74	8.3 ± 1.6	大黄鱼
7	119.77	26.63	8.9 ± 1.8	大黄鱼	17	119.78	26.75	14.1 ± 1.2	大黄鱼、鲍鱼
8	119.85	26.65	3.3 ± 1.5	无养殖	18	119.78	26.70	14.3 ± 1.1	大黄鱼
9	119.91	26.66	15.3 ± 0.8	大黄鱼、鲍鱼	19	119.80	26.68	7.6 ± 1.8	大黄鱼
10	119.90	26.69	10.7 ± 4.3	大黄鱼、鲍鱼	20	119.83	26.67	21.3 ± 1.2	海带

2 结果与分析

2.1 三沙湾海域 DIN 分布特点

从图2可以看出,三沙湾海域DIN含量秋冬季明显高于春夏季,弯顶(靠近内陆区域)以及网箱养殖密集的西部海域DIN含量显著高于湾口以及东部海藻养殖区。三沙湾海域水体三态氮的时空分布特征见图3-5:春季 NO_3^--N 浓度最高的为14号站位(0.25 mg/L),最低出现在8号站位(0.11 mg/L);夏季 NO_3^--N 浓度最高的为14号站位(0.18 mg/L),最低出现在6号站位(0.075 mg/L);秋季 NO_3^--N 浓度最高的为15号站位(0.47 mg/L),最低出现在11号站位(0.22 mg/L);冬季 NO_3^--N 浓度最高的为14号站位(0.37 mg/L),最低出现在3号站位(0.045

mg/L);从分布区域来看,湾顶区 NO_3^--N 浓度要普遍高于湾口区;就季节变化来看,秋、冬两季含量较高,而春、夏两季含量较低(图3)。三沙湾海域 NO_2^--N 浓度普遍在0.02 mg/L以下,周年变化大致表现为冬、春两季含量较低,而秋、夏两季含量较高(图4)。三沙湾海域 NH_4^+-N 浓度普遍在0.1 mg/L以下,春季最高点出现在14号站位(0.06 mg/L),最低点出现在8号站位(0.002 mg/L);夏季最高点出现在15号站位(0.048 mg/L),最低点出现在18号站位(0.001 mg/L);秋季最高点出现在14号站位(0.12 mg/L),最低点出现在11号站位(0.001 mg/L);冬季最高点出现在14号站位(0.10 mg/L),最低点出现在8号站位(0.000 4 mg/L);总体表现为秋、冬两季水体 NH_4^+-N 浓度各站位间变化较大,较春夏两季高

(对应图 5)。综上所述,三沙湾海域无机氮以 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 为主,平均占到无机氮的 70% 以上。三

沙湾养殖海域无机氮的周年变化为:秋季 > 冬季 > 春季 > 夏季。

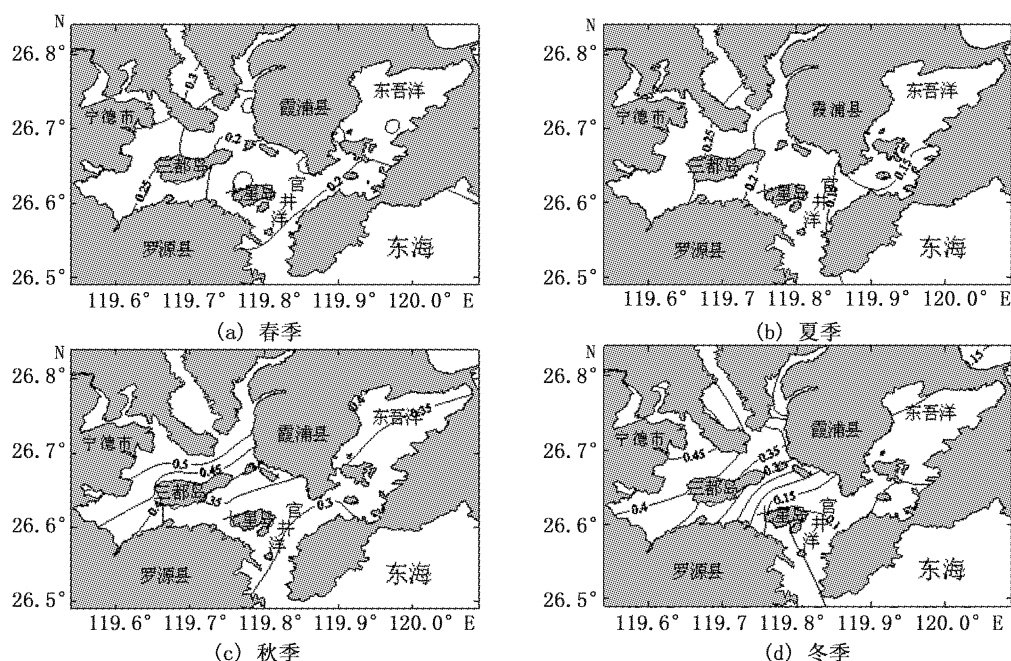


图 2 三沙湾海域无机氮季节变化

Fig. 2 Seasonal variation of DIN concentration in Sansha Bay

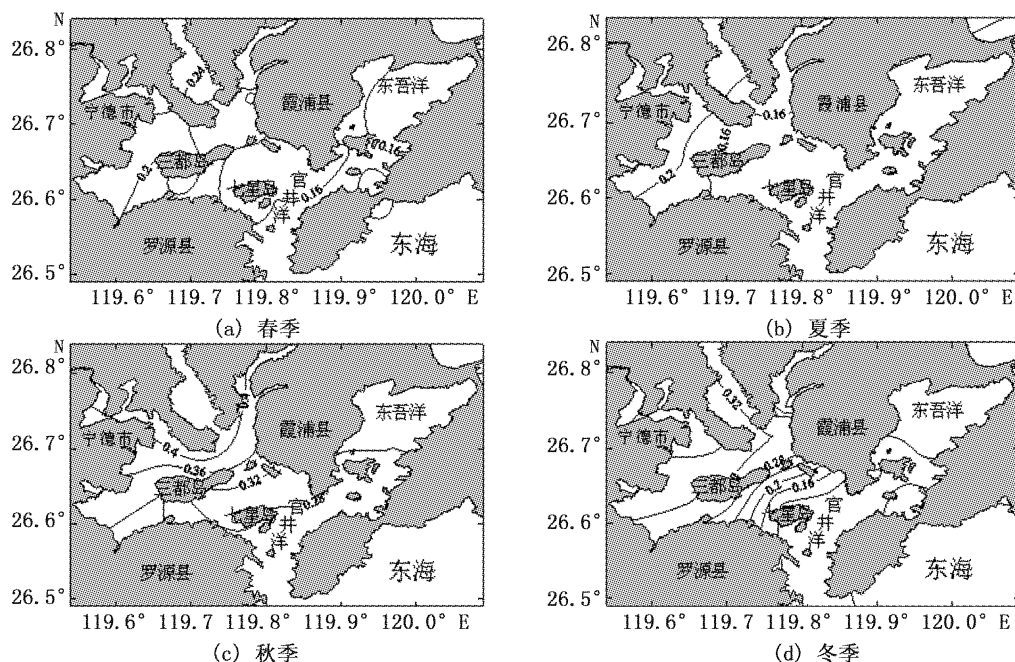


图 3 三沙湾海域硝酸盐季节变化

Fig. 3 Seasonal variation of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ concentration in Sansha Bay

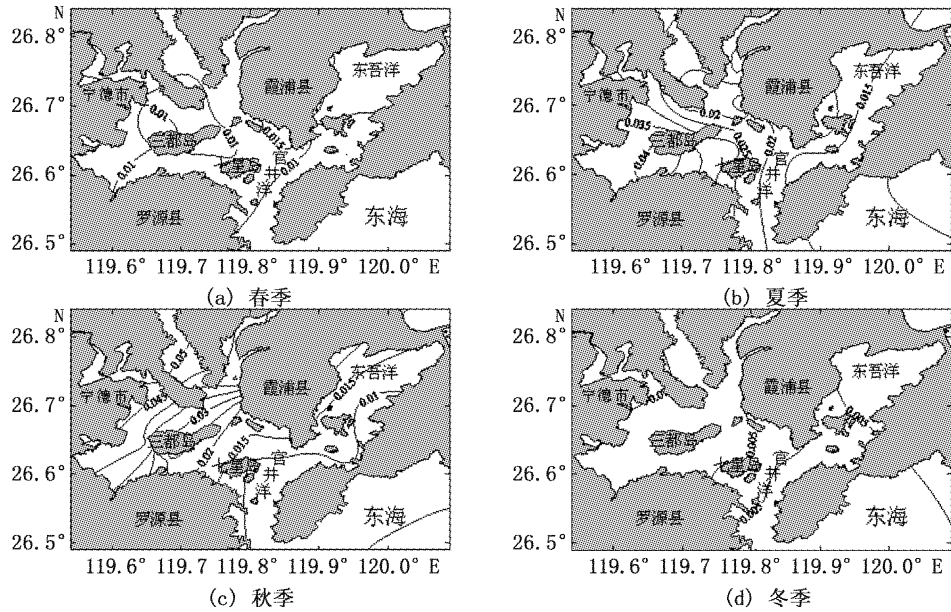


图 4 三沙湾海域亚硝酸盐季节变化

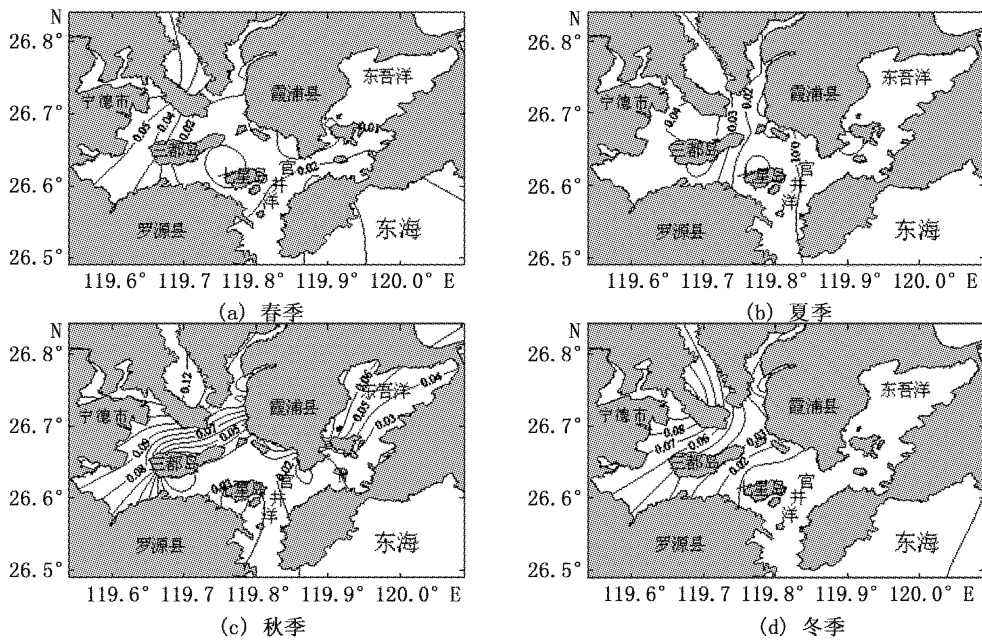
Fig. 4 Seasonal variation of NO_2^- -N concentration in Sansha Bay

图 5 三沙湾海域氨氮季节变化

Fig. 5 Seasonal variation of NH_4^+ -N concentration in Sansha Bay

2.2 三沙湾海域 PO_4^{3-} -P 分布特点

从图 6 可以看出,全年磷酸盐浓度变化较大,季节差异显著,活性磷浓度周年变化规律为:秋季 > 夏季 > 春季 > 冬季;三沙湾顶部区域以及网箱养殖密集的西北部海域 PO_4^{3-} -P 含量显著高于湾口以及东南部海藻养殖区。其中春季 PO_4^{3-} -P 浓度最高的为 13 号站位(0.036 mg/L),

最低出现在 2 号站位(0.008 mg/L);夏季 PO_4^{3-} -P 浓度最高的为 15 号站位(0.096 mg/L),最低出现在 20 号站位(0.036 mg/L);秋季 PO_4^{3-} -P 浓度最高的为 16 号站位(0.090 mg/L),最低出现在 11 号站位(0.045 mg/L);冬季 PO_4^{3-} -P 浓度最高的为 14 号站位(0.048 mg/L),最低出现在 9 号站位(0.010 mg/L)。仅从水中的活性磷浓度

来进行单因子评价,春冬季节的大部分区域能满足海水二类水质标准,夏秋季节水体中的活性磷

含量严重超标,各站位磷酸盐浓度普遍在 0.045 mg/L 以上,为劣四类海水,远低于功能区要求。

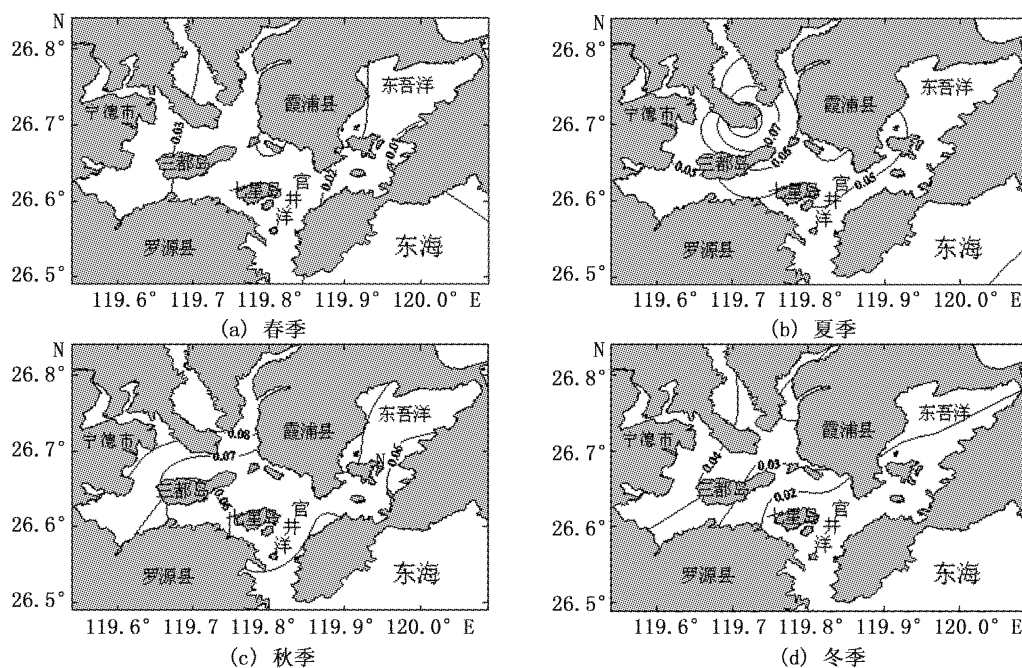


图 6 三沙湾海域磷酸盐季节变化

Fig. 6 Seasonal variation of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ concentration in Sansha Bay

2.3 三沙湾海域 DO 分布特点

从图 7 可以看出,随着季节变化海域的 DO 变化趋势呈现以下特征:冬季 > 秋季 > 春季和夏季;海域 DO 的季节变化规律基本符合水温与 DO 的相关理论,即在水温较低的冬季,水体 DO 含量相对较高,而在水温较高的春夏季节,水中 DO 含量则相对低些。另外,DO 在水平分布上的差异较大,变化趋势为海带养殖区(东部) > 无养殖区(中部) > 鱼类养殖区(西部),网箱养殖区域 DO 含量明显低于无养殖区和海带养殖区,这在湾顶区表现得尤为明显,如无养殖的 11 号站位和养殖海带的 20 号站位的 DO 含量明显高于网箱养殖区 12-19 站位。另一方面,湾口区海域(如 1-5 号站位) DO 水平高于湾顶部海域(如 14-17 站位,图 7)。

2.4 其他水质参数分布特点

其他水质参数诸如 pH、盐度、EC、TDS 等指标每个调查航次之间差异不明显,其中 pH 和盐度各站位 8 航次平均值见表 2, pH 在 7.96 ~ 8.29

之间属于海水正常波动范围之内,海域盐度变化也不大,在 21.21 ~ 27.88 之间,其中只有处于湾顶部 14 和 15 站位低于 25,由于塞江有淡水汇入导致盐度较低,但是塞江径流量较小,淡水汇入三沙湾年度变化不明显,因此三沙湾海域盐度周年不明显。

从图 8 和 9 可知,EC 和 TDS 分布特点与盐度类似,靠近塞江河口区域 EC 和 TDS 均明显低于其他各站位。塞江淡水汇入导致该区域盐度降低,水体导电性能下降,另外夏季 EC 明显高于其他三个季节,这与夏季海水温度较高有关。另外,春夏季节海域的 TDS 明显高于秋冬季节,这可能主要与春夏季节浮游生物大量爆发有关。该海域各站位海水温度相差不大,水温全年变化于 15.4 ~ 30.7 °C 之间,最高和最低水温分别出现在夏季和冬季,各季水温相对稳定。春、夏、秋三季的水温均在 20 °C 以上,适宜海洋生物的生长发育。

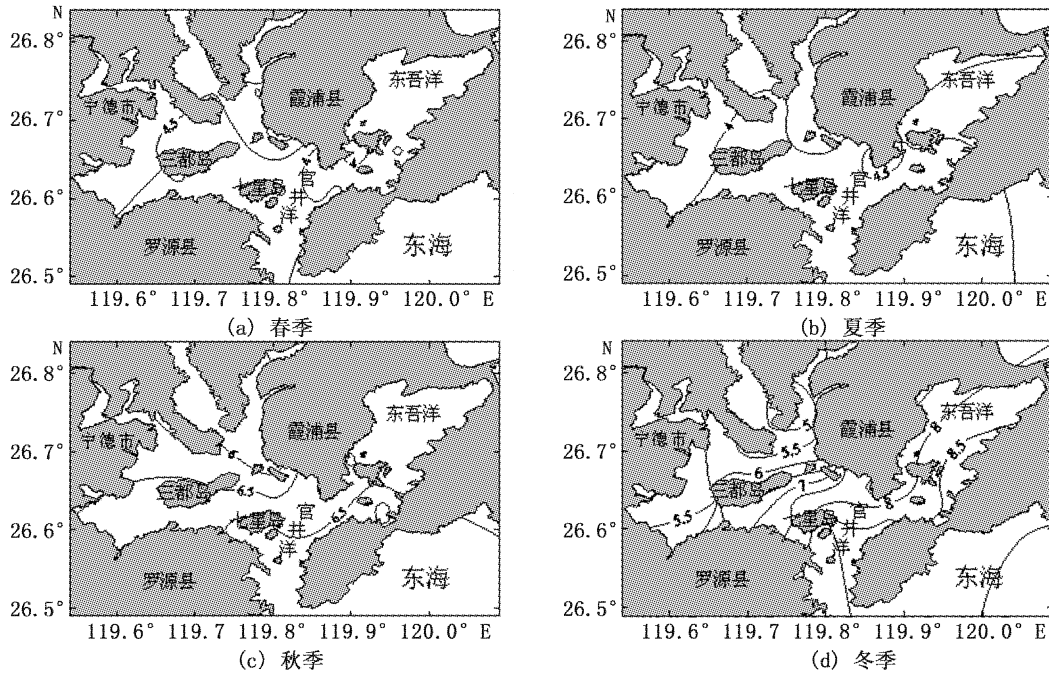


图 7 三沙湾海域溶解氧季节变化
Fig.7 Seasonal variation of DO in Sansha Bay

表 2 三沙湾海域 pH 和盐度周年平均值
Tab.2 The average of pH and salinity in Sansha Bay annually

站位	pH	盐度	站位	pH	盐度
1	7.98 ± 0.60	27.04 ± 1.82	11	8.52 ± 0.29	26.05 ± 1.88
2	8.03 ± 0.53	27.71 ± 1.94	12	8.26 ± 0.33	25.69 ± 2.13
3	8.02 ± 0.43	27.28 ± 2.02	13	8.24 ± 0.08	24.71 ± 1.94
4	8.08 ± 0.51	27.61 ± 2.16	14	8.19 ± 0.41	21.21 ± 2.31
5	8.12 ± 0.51	27.88 ± 2.16	15	8.08 ± 0.20	22.65 ± 1.70
6	7.96 ± 0.46	27.69 ± 2.28	16	8.26 ± 0.38	25.19 ± 2.16
7	8.13 ± 0.44	26.87 ± 2.28	17	8.17 ± 0.46	25.45 ± 2.27
8	8.10 ± 0.48	27.36 ± 2.23	18	8.25 ± 0.40	26.05 ± 2.53
9	8.19 ± 0.14	26.99 ± 1.75	19	8.13 ± 0.35	26.57 ± 2.28
10	8.29 ± 0.36	27.45 ± 1.74	20	8.21 ± 0.43	26.08 ± 3.28

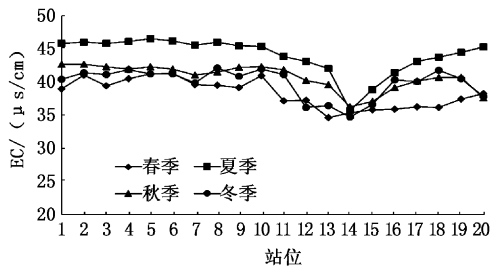


图 8 三沙湾海域 EC 季节变化
Fig.8 Seasonal variation of EC in Sansha Bay

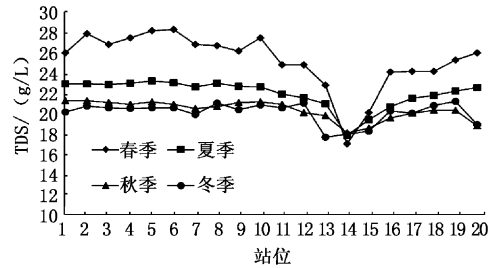


图 9 三沙湾海域 TDS 季节变化
Fig.9 Seasonal variation of TDS in Sansha Bay

2.5 三沙湾海域水质评价

目前,评价海水富营养化状态的模式大体可分为3种:单项指标评价法、综合指数评价法和模糊数学综合评价法。为了突出营养盐限制对

海域富营养化的影响,三沙湾海域营养级别的划分标准按郭卫东等^[11]所提的新型标准,该评价方法综合考虑了N、P对浮游植物的限制作用^[13],具体划分标准见表3。

表3 海水营养级划分标准

Tab.3 Classification standard for nutrient levels of seawater

级别	DIN/ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ -P/(mg/L)	N/P	营养级
I	<0.2	< 0.030	8-30	贫营养
II	0.2-0.3	0.030-0.045	8-30	中度营养
III	>0.3	> 0.045	8-30	富营养
IV _P	0.2-0.3	-	> 30	磷限制中度营养
V _P	>0.3	-	30-60	磷中等限制潜在性富营养
VI _P	>0.3	-	> 60	磷限制潜在性富营养
IV _N	-	0.030-0.045	< 8	氮限制中度营养
V _N	-	> 0.045	4-8	氮中等限制潜在性富营养
VI _N	-	> 0.045	<4	氮限制潜在性富营养

结合2.1和2.2的结果由此推算的三沙湾海域水体富营养化程度见表4,从季节变化上来看,三沙湾海域春季水质最好,基本符合海水二类水质,各站活性磷酸盐浓度普遍在0.03 mg/L以下,无机氮浓度也在0.3 mg/L以内,营养级别为贫营养;夏季各站活性磷酸盐浓度普遍高于0.045 mg/L,为氮限制潜在性富营养化水体;秋季各站活性磷酸盐

浓度普遍高于夏季,大部分站活性磷酸盐浓度在0.06 mg/L以上,水体无机氮含量也明显高于夏季,部分区域的无机氮含量甚至超过0.6 mg/L,为氮中等限制潜在性富营养化水体;冬季活性磷酸盐浓度与春季相当,基本都在0.04 mg/L以下,无机氮浓度也基本在0.4 mg/L以内,绝大多数站的水质均满足海水三类水标准,水体营养级别为中度营养。

表4 三沙湾海域水体富营养化程度(2009-2010)

Tab.4 Eutrophication assessment for aquaculture area in Sansha Bay (2009-2010)

季节	DIN/ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ -P/ (mg/L)	N/P	营养级别
春季(3-5月)均值	0.206	0.025	9.241	贫营养
夏季(6-8月)均值	0.142	0.053	2.703	氮限制潜在性富营养
秋季(9-11月)均值	0.380	0.067	5.814	氮中等限制潜在性富营养
冬季(12-2月)均值	0.229	0.025	8.937	中度营养

3 讨论

3.1 三沙湾海域水质周年变化特点原因浅析

由2009年至2010年三沙湾海域水质周年调查结果表明,从季节变化上来看,三沙湾海域春季水质最好,营养级别为贫营养,夏季为氮限制潜在性富营养化,秋季为氮中等限制潜在性富营养化,冬季为中度营养;从空间分布上来看,三沙湾整体上三都岛以西网箱养殖大黄鱼等居多,水质明显较差,三都岛以东海带养殖较多,水质也较好。黄标等^[13]根据2001年1-12月对福建三

都澳内青山和渔坛两个主要网箱养殖区海水营养盐(NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N和PO₄³⁻-P)含量的监测结果,报道了其含量变化特征及潜在性富营养化程度,结果表明这两个养殖区水体的潜在性富营养化程度春、夏季属于中度营养,秋、冬季属于富营养。黄伟卿等^[10]调查得出三都澳四个养殖点周年属于中度营养状态。整体来说,该研究富营养化程度普遍比本次调查要高一个级别,主要原因可能是2001年和2012年这两次调查海域主要集中在网箱养殖区,因此水体污染程度肯定要比本次调查整个三沙湾海域的结果要

高,三沙湾海域东南部网箱养殖较少,海带等大型藻类养殖较多,能够缓解海域的水质。三沙湾海域水质周年变化特点可以从更为详细的指标来体现,其中 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N 秋、冬两季含量较高,而春、夏两季含量较低,这可能是由于春、夏季浮游植物活动频繁,营养盐消耗量比较大所致。海域 NO_2^- -N 冬、春两季含量较低,而秋、夏两季含量较高。其原因可能是由于冬季和春季水温较低,相对的 DO 含量也较秋、夏两季高,因此水体的 NO_2^- -N 浓度较低。三沙湾海域无机氮以 NO_3^- -N 为主,平均占到无机氮的 70% 以上,三沙湾海域无机氮的周年变化为:秋季 > 冬季 > 春季 > 夏季。 NO_3^- -N 和 NO_2^- -N 的周年变化趋势与黄伟卿等^[10] 2011 年至 2012 年对三都澳四个水产养殖点的营养盐周年变化调查基本一致,而其他指标如 NO_2^- -N、 PO_4^{3-} -P 等季节变化趋势与本次调查略有不同,这可能与本次调查海域覆盖整个三沙湾,因此各个站位平均值与这两个网箱养殖区有所差异所致。

3.2 三沙湾海域水质历年变化原因探讨

从表 5 中可以看出,近 20 年来,三沙湾海域的 DO 水平下降明显,均值由 1991 年的 7.38 mg/L 降至 2009 - 2010 年的 5.47 mg/L。水体 DO 的

逐年下降与该海域逐年增多的网箱数有较大关系。而该海域的磷酸盐浓度在近 20 年内呈现逐年上升趋势,2009 - 2010 年的均值达到 0.042 mg/L,是 1991 年的 4.67 倍。磷酸盐的三类水质标准为 0.030 mg/L,目前三沙湾的磷酸盐含量已远远超过三类标准,接近四类标准(0.045 mg/L)的水平,水体富营养化趋势加剧。主要原因可能有以下几个方面:(1) 三沙湾海域具有较高的水温和相对稳定的盐度,有利于海洋生物的繁育与生长,是全国大黄鱼网箱养殖的主产区,网箱养殖规模近 20 年来日益扩大;(2) 随着网箱养殖面积的增加,养殖饲料残渣(饲料主要为野杂鱼打成肉酱,容易在水中分离污染)和鱼类排泄物以及养殖人员生活污染物等也随之增加,由表 5 统计比较发现,三沙湾海域磷酸盐浓度逐年递增,而水体溶解氧水平却逐年下降,整体水质变差,水体富营养化趋势明显;(3) 近 20 年来随着三沙湾周边地区工农业的快速发展,水体无机氮和活性磷酸盐含量较普遍超标,入海污染物总量全省第三的交溪、霍童溪等大小溪流将陆地上大量的工业、农业废水和生活污水排入该海域,给其补充了大量的营养盐,同时还有大量的农业面源污染^[13]。

表 5 三沙湾水质指标历年比较

Tab. 5 Comparison of water quality indexes in Sansha Bay in different years

项目	1991 年均值	1998 年均值	2000 年均值	2004 年均值	本调查均值
pH	(7.93 ~ 8.39)	-	(7.95 ~ 8.11)	(7.98 ~ 8.14)	(7.96 ~ 8.52)
	8.22	-	8.04	8.06	8.16
DO/(mg/L)	(5.54 ~ 8.84)	(5.57 ~ 7.72)	(4.8 ~ 7.3)	-	(4.68 ~ 8.76)
	7.38	6.48	6.3	-	5.47
磷酸盐/(mg/L)	(0.007 ~ 0.033)	(0.009 ~ 0.029)	(0.017 ~ 0.036)	(0.005 ~ 0.046)	(0.008 ~ 0.090)
	0.009	0.019	0.026	0.034	0.042
无机氮/(mg/L)	(0.036 ~ 0.312)	(0.117 ~ 0.682)	(0.172 ~ 0.546)	(0.028 ~ 0.563)	(0.057 ~ 0.618)
	0.185	0.243	0.339	0.347	0.253

注:1991 年数值参考《中国海湾志》第七分册^[12]; 1998 年数值参考《福建省第二次海洋污染基线调查报告》; 2000 年数值参考《福建主要港湾的环境质量》; 2004 年数值参考文献^[1]。

3.3 三沙湾海域不同站点 DO 变化特点分析

三沙湾海域 DO 在不同站点的数值差异较大可以从两方面进行解释:(1) 与海域的养殖对象有关。DO 在三沙湾海域的变化趋势为海带养殖区(东部) > 无养殖区(中部) > 鱼类养殖区(西部),即网箱养殖区域 DO 含量(如 12 - 19 站位)明显低于无养殖区(如 11 号站位)和海带养殖区

(如 20 号站位)。网箱养殖海域养殖对象密度较大,加上养殖区处于内湾,潮流缓慢,大量养殖残饵、养殖鱼类的排泄物,及沿岸水将陆地许多有机物注入该海域,消耗了大量溶解氧,在一定条件下导致局部海域水体的富营养化,因此该区域 DO 明显低于其他区域。另一方面,近年来随着“三菜”(海带、紫菜、龙须菜)价格的抬升,部分养

殖户开始转入三菜养殖。这类植物在养殖过程中吸收氮磷等营养物质,其光合作用又能释放出氧气,因此与鱼类网箱养殖区相比,海带养殖区的 DO 含量较高。(2)与站位所处的空间位置有关。湾口区海域(如 1-5 号站位)DO 水平高于湾顶部海域(如 14-17 站位),这主要是由于湾顶部海域更靠近内陆,陆源污染物入海比较多,因此相对的 DO 含量有所降低。另外,湾顶部水体交换能力低于湾口区也是导致两者间溶解氧差异的原因之一。

参考文献:

- [1] 蔡清海. 福建三沙湾海洋生态环境研究[J]. 中国环境监测, 2007, 23(6): 101-105.
- [2] 刘育莎, 林元烧, 郑连明, 等. 福建省三沙湾饵料浮游动物生态特征研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2010, 49(1): 102-108.
- [3] 刘家富, 郑钦华, 陈洪清, 等. 三沙湾的水质状况[J]. 台湾海峡, 2003, 22(2): 201-204.
- [4] 蔡清海, 杜琦, 钱小明, 等. 福建三沙湾海洋沉积物中重金属和过渡元素来源分析[J]. 地质学报, 2007, 81(10): 1444-1448.
- [5] 蔡清海, 杜琦, 钱小明, 等. 福建省三沙湾海洋生态环境质量综合评价[J]. 海洋学报, 2007, 29(2): 156-160.
- [6] ZHOU J, JI W W. Impacts of mariculture practices on temporal distribution characteristic of macrobenthos in the Sandu Bay, South China[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2012, 30(3): 388-396.
- [7] 纪炜炜, 周进. 三都澳大型底栖动物群落结构及其对水产养殖的影响[J]. 中国水产科学, 2012, 19(3): 491-499.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会发布. 海洋监测规范[S], GB17378—2007 北京: 中国标准出版社, 北京, 2008.
- [9] 郑钦华, 王晓清, 何湘蓉, 等. 三沙湾海水中无机氮的变化特征[J]. 河北渔业, 2008, 180(12): 43-46.
- [10] 黄伟卿, 陈明华, 陈彩珍, 等. 三都澳四个水产养殖点水质周年变化分析[J]. 水产养殖, 2012, 33(10): 24-28.
- [11] 郭卫东, 章小明, 杨逸萍, 等. 中国近岸海域潜在性富营养化程度的评价[J]. 台湾海峡, 1998, 17(1): 64-70.
- [12] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志, 第 7 分册[M]. 北京: 海洋出版社, 1994.
- [13] 黄标, 钱鲁闽, 刘家富. 福建三都澳水产养殖区水体氮磷含量及潜在性富营养化程度分析[J]. 台湾海峡, 2008, 21(4): 411-415.

Annual analysis and evaluation of water quality in Sansha Bay, Fujian

SHAO Liu¹, YU Ke-feng¹, WU Hai-long¹, HUO Yuan-zi¹, HE Qing¹, SHEN Ang-lu²

(1. College of Fisheries and Life Science, Water Environment&Ecology Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of East China Sea & Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Shanghai 200090, China)

Abstract: In this research, the quality of water in Sansha Bay was analyzed and evaluated from May 2009 to May 2010, with 20 sampling stations, and 8 voyages. The results showed: In terms of seasonal change, the best seawater quality of Sansha Bay appeared in spring with a poor nutrient status and the tested indices were lower than the second-grade water quality criteria. The nitrogen concentration of Sansha Bay was very low in summer, while phosphate concentration was always higher than 0.045 mg/L. The quality of water in Sansha Bay in summer was at the stage of nitrogen-limited potential eutrophication. The worst seawater quality of Sansha Bay appeared in autumn. During this period, phosphate concentration in most stations were higher than 0.06 mg/L and nitrogen concentration were higher than 0.6 mg/L in some areas, which were both much higher than those in summer. Water quality of Sansha Bay in autumn was at the stage of middling nitrogen-limited potential eutrophication. Tested indices showed that the seawater quality in winter, which was similar to that of spring, fitted the third-grade water quality criteria and was at the stage of middling nutrient level. In terms of the spatial distribution, poor water quality obviously appeared in the west region of Sandu Island because of its cage culture, and better water quality obviously appeared in the east region of Sandu Island because of its laminaria culture. Downtrend of DO could be found from bay mouth to bay top. Compared with bay mouth, lower conductivity and TSP (Total Suspended Particles) were found at bay top due to runoff from inland.

Key words: Sansha Bay; aquaculture area; eutrophication; water evaluation