文章编号:1006 - 5601(2013)03 - 0211 - 07

三都湾大黄鱼网箱养殖区海水营养盐状况的初步研究

林永添

(宁德市海洋与渔业环境监测站，福建 宁德 352100)

摘要：根据 2009—2011 年三都湾大黄鱼网箱养殖区的水质监测资料，对该海域营养盐的变化及分布特征进行了探讨、研究。结果表明：2009—2011 年期间，网箱养殖区海域水质超出作为养殖功能区的水质标准的要求；NO_3 - N 占 DIN 含量的 78.08% ~88.89%，是该养殖区海域 DIN 的主要组成部分；PO_4 - P 对养殖区海域浮游植物的繁殖生长将可能起限制作用，是该海域初级生产力的主要潜在限制性营养盐；营养盐（N，P，Si）含量存在明显的月变化、空间变化及年际差异等特征。

关键词：三都湾；养殖区；营养盐；特征

中图分类号：P734　　**文献标识码**：A

三都湾为我国典型的近封闭型港湾，湾内海淡水交混、营养盐丰富，是海洋生物繁殖生长的理想场所。近年来，三都湾海水鱼网箱养殖发展迅速，成为福建省乃至全国最大的大黄鱼养殖基地[1]。因此及时掌握湾内水质状况对养殖区海域十分重要。本文根据 2009—2011 年 4—10 月份的监测资料，对三都湾大黄鱼网箱养殖区营养盐的分布特征进行了初步的研究，旨在为政府调整海水养殖区域和结构，引导和开展无公害、标准化养殖示范点的建设，推广科学养殖和生态养殖，提高养殖技术水平，推进传统海水养殖业向现代养殖业的转变，确保海水养殖业健康、有序和可持续发展提供科学资料。

1　调查与分析方法

根据三都湾养殖区网箱的分布情况，采用卫星定位仪（GPS）分别在湾内的蕉城、福安、霞浦等 3 县（区、市）各养殖区海域布设了 4 个固定的监测点，如图 1 所示。监测指标包括活性磷酸盐（PO_4 - P）、亚硝酸盐（NO_2 - N）、硝酸盐（NO_3 - N）、氨氮（HH_3 - N）、活性硅酸盐（SiO_3 - Si）。监测时间为 2009—2011 年每年的 4 月—10 月。样品的采集与分析均按照《海洋监测规范》GB17378 - 2007[2]进行。

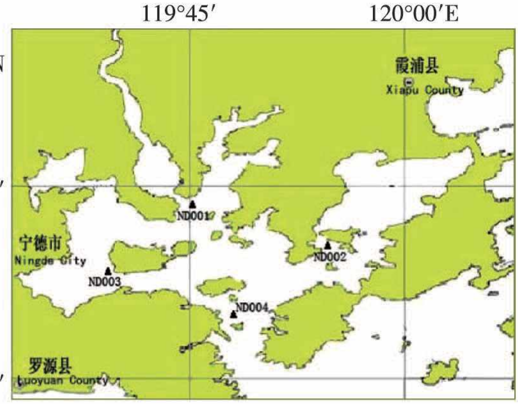


图 1　三都湾大黄鱼网箱养殖区调查站位分布图
Fig.1　Distribution of sampling stations in *Pseudosciaena crocea* Net–Cage Culture Area of Sandu Bay

收稿日期：2013 - 03 - 18
资助项目：福建省海洋与渔业厅项目.
作者简介：林永添（1978 - ），男，工程师，从事海洋环境监测和病害防治研究. E - mail：lyt7809@163. com

2 结果与讨论

2.1 三都湾大黄鱼网箱养殖区营养盐状况

从监测数据看，2009—2011 年三都湾大黄鱼网箱养殖区表层 DIN、PO_4-P 的月平均含量超出作为养殖功能区的水质标准（养殖区水质要求符合 GB3097 - 1997《海水水质标准》[3] 规定的 II 类海水水质）的要求。

2.1.1 网箱养殖区 DIN 的分布状况

2009 年，三都湾大黄鱼网箱养殖区 DIN 的含量为 0.212 ~ 0.440 mg/L，平均值为 0.355 mg/L。最低值出现在 8 月份，最高值出现在 10 月份。网箱养殖区内的 DIN 浓度有一定的波动；2010 年，三都湾大黄鱼网箱养殖区 DIN 的含量为 0.291 ~ 0.516 mg/L，平均值为 0.399 mg/L。最低值出现在 7 月份，最高值出现在 4 月份。网箱养殖区内的 DIN 浓度较 2009 年有一定的上升；2011 年，三都湾大黄鱼网箱养殖区 DIN 的含量为 0.321 ~ 0.447 mg/L，平均值为 0.375 mg/L。最低值出现在 7 月份，最高值出现在 10 月份。网箱养殖区内的 DIN 浓度较 2010 年波动不明显。从 3 年的调查结果看，DIN 的含量最低值一般出现在每年的 7 月和 8 月，而最高值则出现在 4 月和 10 月（图 2）。说明 DIN 含量变化与沿岸淡水注入、浮游植物生长繁殖的季节变化和水产养殖动物排泄物等因素息息相关。

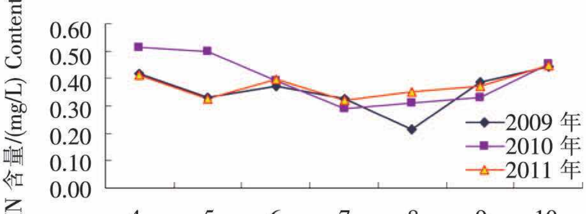


图 2 三都湾大黄鱼网箱养殖区 DIN 含量月平均变化

Fig.2 Monthly average contents of DIN in *Pseudosciaena crocea* Net-Cage Culture Area of Sandu Bay

2.1.2 网箱养殖区 PO_4-P 的分布状况

2009 年，三都湾大黄鱼网箱养殖区 PO_4-P 的含量为 0.028 ~ 0.040 mg/L，平均值为 0.035 mg/L。2010 年，三都湾大黄鱼网箱养殖区 PO_4-P 的含量为 0.026 ~ 0.050 mg/L，平均值为 0.036 mg/L。2011 年，三都湾大黄鱼网箱养殖区 PO_4-P 的含量为 0.031 ~ 0.049 mg/L，平均值为 0.038 mg/L。从 3 年的数据来看，PO_4-P 的含量最高值一般出现在 10 月（图 3）。网箱养殖区内 PO_4-P 含量变化受水系交换及生物活动的影响较大。

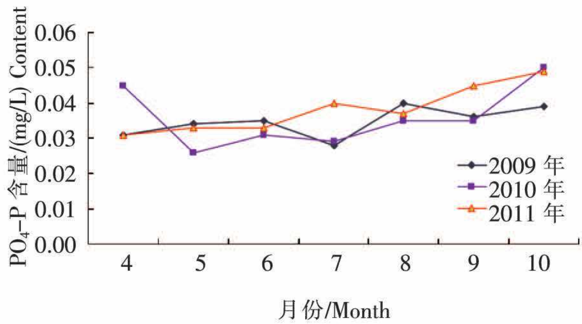


图 3 三都湾大黄鱼网箱养殖区 PO_4-P 含量月平均变化

Fig. 3 Monthly average contents of PO_4-P in *Pseudosciaena crocea* Net-Cage Culture Area of Sandu Bay

2.1.3 网箱养殖区 SiO_3-Si 的分布状况

2009 年，三都湾大黄鱼网箱养殖区 SiO_3-Si 的含量为 0.572 ~ 1.615 mg/L，平均值为 1.079 mg/L。2010 年，三都湾大黄鱼网箱养殖区 SiO_3-Si 的含量为 0.993 ~ 1.67 mg/L，平均值为 1.379 mg/L。2011 年，三都湾大黄鱼网箱养殖区 SiO_3-Si 的含量为 0.928 ~ 1.401 mg/L，平均值为 1.211 mg/L。从 3 年的数据来看，SiO_3-Si 的含量最低值一般出现在每年的 6 月或 7 月，而最高值则出现在 9 月或 10 月（图 4）。

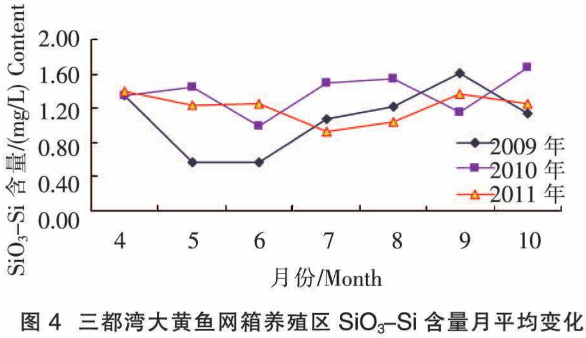


图 4 三都湾大黄鱼网箱养殖区 SiO_3-Si 含量月平均变化

Fig. 4 Monthly average contents of SiO_3-Si in *Pseudosciaena crocea* Net-Cage Culture Area of Sandu Bay

2.2 三都湾大黄鱼网箱养殖区营养盐的分布特征

2.2.1　网箱养殖区各种营养盐的变化状况

营养盐是浮游植物生长的基础，本调查海域营养盐的分布有春、夏季减少，秋季回升的特征，浮游植物生长繁殖需要消耗营养盐。而生物量则呈现春、夏季增加，秋季开始下降，冬季达到最低值的季节变化特征。从表 1 统计结果可以看出，2009—2011 年大黄鱼网箱养殖区表层海水营养盐含量存在明显的月变化特征。4 月份，水温较低，海水表层生物量低，浮游植物也尚未复苏等，NO_3-N、HH_3-N 和 SiO_3-Si 由于冬季以及早春的积累含量相对较高，进入 5 月以后，海水表层在适宜的温度和光照条件下，藻类等浮游植物增加，NO_3-N、HH_3-N 和 SiO_3-Si 含量有所下降，至 7 月份，水温在 28.0℃左右，藻类等浮游植物开始大量生长繁殖，细胞数量迅速增加（图 5），海区的营养盐被大量消耗，含量急剧下降。进入 8—9 月份，霍童溪等陆源径流大量雨水的注入，霍童溪 2009—2011 年年径流量为 29.2～46.3 亿立方米，大量降水量主要集中在 4—9 月，这些河流雨水入海带来沿岸的营养盐及市政排污口污水中大量营养盐排放入海等；养殖区底部多年来沉积的养殖残饵受水流等影响，部分营养盐上升到海水表层。这些方面的影响使三都湾大黄鱼网箱养殖区 DIN、PO_4-P 含量有所上升。另一方面是秋季 9 月后水温下降至 27.0℃左右，浮游植物细胞数量减少（图 5），于是水体中的 DIN 大量积蓄。

表 1　2009—2011 年三都湾大黄鱼网箱养殖区营养盐的月平均含量

Tab. 1　Monthly average contents of N, P in *Pseudosciaena crocea* Net – Cage Culture Area of Sandu Bay from 2009 to 2011

mg/L

月份/Month	NO_2-N	NO_3-N	HH_3-N	PO_4-P	SiO_3-Si
4	0.014	0.387	0.048	0.035	1.367
5	0.029	0.316	0.041	0.031	1.186
6	0.044	0.317	0.027	0.033	0.943
7	0.031	0.260	0.021	0.032	1.169
8	0.037	0.225	0.029	0.037	1.267
9	0.030	0.306	0.028	0.038	1.378
10	0.022	0.393	0.031	0.046	1.353

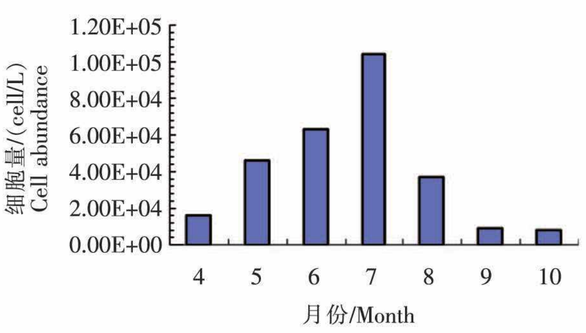


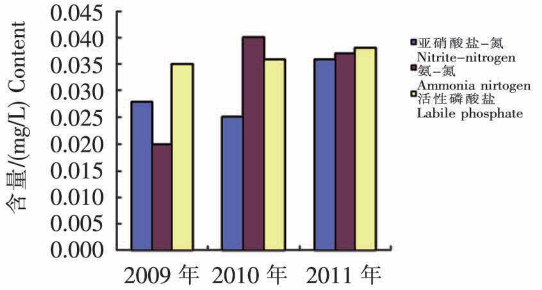
图 5　2009—2011 年三都湾大黄鱼网箱养殖区浮游植物细胞量的月平均量

Fig.5　Monthly average contents of the cell abundance of Phytoplankton in *Pseudosciaena crocea* Net–Cage Culture Area of Sandu Bay from 2009 to 2011

从图 6 可以看出，养殖区海域 NO_3-N 是无机氮的主要组成部分，NO_3-N 与 PO_4-P 的含量从 2009—2011 年度监测数据来看，相对稳定，没有明显变化。而 NO_2-N、HH_3-N 和 SiO_3-Si 的含量各年度间变化较大。

2.2.2　网箱养殖区营养盐的空间分布

为了系统地反映大黄鱼网箱养殖区 N，P，Si 营养盐含量的空间波动程度差异，本文选用变异系数来表示其空间波动程度的大小，变异系数计算公式[4]：$Cv = S^2/\overline{X}$，式中：Cv 为变异系数；S^2 表示 N，P，Si 营养盐含量空间序列的标准偏差；$\overline{X}$ 表示各类营养盐含量空间序列的平均值。



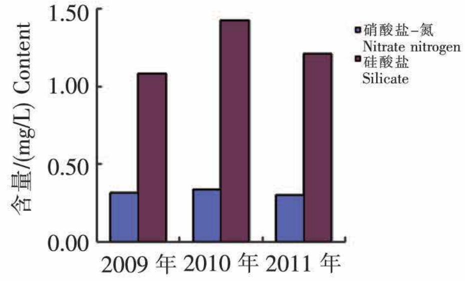


图 6　2009—2011 年三都湾大黄鱼网箱养殖区营养盐平均含量的年际变化趋势

Fig. 6　The annual distribution trend of average nutrients in *Pseudosciaena crocea* Net-Cage Culture Area of Sandu Bay from 2009 to 2011

表 2　2009—2011 年三都湾大黄鱼网箱养殖区各监测站营养盐的平均含量

Tab. 2　Average contents of nutrients in the monitoring and controlling stations of *Pseudosciaena crocea* Net - Cage Culture Area of Sandu Bay from 2009 to 2011

mg/L

时间/Time	项目/Items	ND001	ND002	ND003	ND004	Cv(变异系数)
2009 年	NO_2-N	0.025	0.021	0.041	0.022	0.34
	NO_3-N	0.368	0.273	0.337	0.255	0.17
	HH_3-N	0.021	0.020	0.021	0.018	0.07
	PO_4-P	0.035	0.030	0.045	0.029	0.21
	SiO_3-Si	1.423	0.852	1.266	0.769	0.29
2010 年	NO_2-N	0.020	0.022	0.034	0.024	0.25
	NO_3-N	0.391	0.292	0.362	0.285	0.16
	HH_3-N	0.028	0.041	0.043	0.033	0.19
	PO_4-P	0.037	0.032	0.043	0.031	0.15
	SiO_3-Si	1.919	0.993	1.721	1.057	0.33
2011 年	NO_2-N	0.026	0.038	0.049	0.032	0.27
	NO_3-N	0.363	0.276	0.317	0.253	0.16
	HH_3-N	0.037	0.039	0.040	0.033	0.08
	PO_4-P	0.038	0.034	0.049	0.031	0.21
	SiO_3-Si	1.481	1.054	1.276	1.033	0.17

综上所述，三都湾大黄鱼网箱养殖区 Si，N 和 P 营养盐含量的空间波动程度存在一些差异。变异系数分析表明：3 年来，NO_2-N 含量的空间波动程度明显，变异系数变化范围分别在 0.25 ~ 0.34 之间，2009 年空间变异系数比较大，而 2010 和 2011 年基本保持稳定；NO_3-N 含量的空间波动程度不明显，变异系数变化范围分别在 0.16 ~ 0.17 之间；HH_3-N 含量的空间波动程度明显，变异系数变化范围分别在 0.07 ~ 0.19 之间，2010 年空间变异系数比较大，而 2009 和 2011 年基本保持稳定；PO_4-P 含量的空间变异系数介于 0.15 ~ 0.21 之间，而 2009 和 2011 年保持稳定，2010 年变异系数相差较大；SiO_3-Si 的空间变异系数范围为 0.17 ~ 0.33，2009 和 2010 年的空间变异系数相差较小，但均大于 2011 年，这表明大黄鱼网箱养殖区 SiO_3-Si 含量的空间波动程度年际间存在增大趋势；从 2009—2011 年监测的监测数据看：ND001 站位 DIN 含量为 0.414 ~

0.439 mg/L，PO_4-P 含量为 0.035～0.038 mg/L，SiO_3-Si 含量为 1.423～1.919 mg/L；ND002 站位 DIN 含量为 0.314～0.355 mg/L，PO_4-P 含量为 0.030～0.034 mg/L，SiO_3-Si 含量为 0.852～1.054 mg/L；ND003 站位 DIN 含量为 0.399～0.439 mg/L，PO_4-P 含量为 0.043～0.049 mg/L，SiO_3-Si 含量为 1.266～1.721 mg/L；ND004 站位 DIN 含量为 0.295～0.342 mg/L，PO_4-P 含量为 0.029～0.031 mg/L，SiO_3-Si 含量为 0.769～1.057 mg/L。监测结果表明：ND001、ND003 站位的含量比其他 2 个站位略高。ND001、ND003 站位分布于三都湾湾顶的海域，受陆源入海污染物影响较大，含量偏高；而 ND002、ND004 站位分布于出海口处的海域，水流交换迅速，含量有所下降。

2.2.3　三都湾大黄鱼网箱养殖区营养盐结构特征

从表 3 中可以看出，2009—2011 年三都湾大黄鱼网箱养殖区各个监测站点 NO_2-N 平均含量占 DIN 的 6.33%～9.76%，HH_3-N 占 DIN 含量的 5.71%～10.00%，而 NO_3-N 平均含量却占 DIN 的 80.32%～86.70%，NO_3-N 是无机氮的主要存在形式。NO_3-N/DIN 的比值呈现位于三都湾湾顶的 ND001 站位置大于三都湾的出海口处的 ND004 站位，而 NO_2-N/DIN、HH_3-N/DIN 的比值则相反，呈现出海口处海域大于湾顶的海域。这可能与港湾内浮游生物以及微生物活动强弱的空间差异有关。

海域 Si/N/P（摩尔比）的比值是海水水体现存 N，P，Si 营养状态的具体反映。据 Redfield，Brzezinski 研究：浮游植物对氮、磷营养盐的吸收是按 16∶1 的恒定摩尔比进行的[5-6]，N，P，Si 营养盐结构的改变，会导致某个要素成为浮游植物生长的限制性因子。表 3 统计结果表明，2009—2011 年三都湾养殖区海域 DIN/PO_4-P 比值的变化范围为 18.32∶1～27.42∶1；SiO_3-Si/PO_4-P 比值变化范围为 28.72∶1～57.20∶1；SiO_3-Si/DIN 比值变化范围为 1.31∶1～2.09∶1。根据化学计量营养盐限制标准，当 $SiO_3-Si/PO_4-P>22$ 和 DIN/$PO_4-P>22$ 时为 PO_4-P 限制；当 DIN/$PO_4-P<10$，SiO_3-Si/DIN >1 时为 DIN 限制；当 $SiO_3-Si/PO_4-P<10$，SiO_3-Si/DIN <1 时为 SiO_3-Si 限制。结合三都湾大黄鱼网箱养殖区营养盐浓度及其结构特征（表 3），结果分析表明：2009—2011 年该养殖区海域 4 个监测站 SiO_3-Si/PO_4-P 均超过 22，DIN/PO_4-P 大部分站位也超过 22，SiO_3-Si/DIN 均超过 1，表明 2009—2011 年 PO_4-P 对三都湾大黄鱼网箱养殖区浮游植物的繁殖生长产生潜在限制性作用。

表 3　2009—2011 年三都湾大黄鱼网箱养殖区各监测站营养盐结构状况

Tab. 3　Distribution of nutrients in the monitoring and controlling stations of *Pseudosciaena crocea* Net－Cage Culture Area of Sandu Bay from 2009 to 2011

时间/Time	项目/Items	ND001	ND002	ND003	ND004	平均值
2009 年	NO_2-N/DIN	6.04%	6.69%	10.28%	7.48%	7.62%
	NO_3-N/DIN	88.89%	86.94%	84.26%	86.73%	86.71%
	HH_3-N/DIN	5.07%	6.37%	5.26%	6.12%	5.71%
	N/P(摩尔比)	26.17	23.14	19.60	22.41	22.83
	Si/P(摩尔比)	44.97	31.32	31.03	29.25	34.14
	Si/N(摩尔比)	1.72	1.35	1.58	1.31	1.49
2010 年	NO_2-N/DIN	4.36%	6.20%	7.74%	7.02%	6.33%
	NO_3-N/DIN	86.71%	82.25%	82.46%	83.33%	83.69%
	HH_3-N/DIN	8.93%	11.55%	9.79%	9.65%	9.98%

	N/P(摩尔比)	27.42	24.52	22.57	24.39	24.73
	Si/P(摩尔比)	57.20	34.22	44.14	37.61	43.29
	Si/N(摩尔比)	2.09	1.40	1.96	1.54	1.75
2011年	NO_2-N/DIN	6.10%	10.76%	12.07%	10.09%	9.76%
	NO_3-N/DIN	85.21%	78.19%	78.08%	79.81%	80.32%
	HH_3-N/DIN	8.69%	11.05%	9.85%	10.41%	10.00%
	N/P(摩尔比)	24.78	22.95	18.32	22.60	22.16
	Si/P(摩尔比)	42.98	34.19	28.72	36.75	35.66
	Si/N(摩尔比)	1.73	1.49	1.57	1.63	1.61

3 小结

（1）受三都湾湾内水温、浮游动植物的生命活动、陆源径流、生物自身作用等因子的共同影响，从3年的监测数据看，三都湾作为养殖功能区海域DIN、PO_4-P含量，超出GB3097－1997规定的Il类海水水质的要求。DIN、PO_4-P含量呈现春、秋季高，夏季低的趋势。年际变化分析结果表明：养殖区海域中NO_3-N和PO_4-P的含量相对稳定，没有明显变化。而HH_3-N、NO_2-N和SiO_3-Si的含量上升和下降趋势相对明显。

（2）总体上看，三都湾大黄鱼网箱养殖区N，P和Si营养盐含量的空间波动程度存在一些差异。变异系数分析表明：3年来，NO_2-N变异系数范围为0.25～0.34，HH_3-N变异系数范围为0.07～0.19，而SiO_3-Si的空间变异系数范围为0.17～0.33，变化较为明显；NO_3-N变异系数变化范围为0.16～0.17；PO_4-P含量的空间变异系数介于0.15～0.21之间，波动范围不大。ND001、ND003站位的含量比其他2个站位略高。

（3）近3年来，三都湾大黄鱼网箱养殖区NO_3-N是DIN主要组成部分，占DIN含量的80.32%～86.70%，是该养殖区DIN的主要存在形式；PO_4-P对养殖区浮游植物的繁殖生长将可能产生限制作用，是该养殖区海域初级生产力的主要潜在限制性营养盐。

参考文献：

[1] 郑钦华，刘家富，陈洪清，等．三都湾海水中无机氮和无机磷的分布特征及海水质量的评价[J]．福建水产，2002，4：22－27.

[2] 国家质量监督检验检疫总局．GB17378－2007海洋监测规范[S]．北京：中国标准出版社，2008.

[3] 国家环境保护总局．GB 3097－1997海水水质标准[S]．北京：环境科学出版社，2004.

[4] 崔党群．生物统计学[M]．北京：中国科学技术出版社，1994：34－35.

[5] Brzezinski M A. The Si：C：N ratio of marine diatoms：interspecific variability and the effect of some environmentalvariables [J]. Journal of Phycology，1985，21：347－357.

[6] Redfield A C，Ketchum B H，Richards F. The influence of organisms on the composition of sea water. In：Hill M N ed. The sea [J]. John Wiley. New York，1963，2：26－27.

A preliminary study of nutrients distribution in *Pseudosciaena crocea* Net – Cage Culture Area of Sandu Bay

LIN Yong-tian
(Ningde City Sea and Fishery Environmental Monitoring Station, Ningde 352100, China)

Abstract: We monitored the contents of nutrients in *Pseudosciaena crocea* Net – Cage Culture Area of Sandu Bay from 2009 to 2011, and assessed the distribution and abundance of nutrients. The result indicated that the water quality in cultivation zones of Sandu Bay was superior to the water quality standard (Ⅱ kind of GB3097 – 1997 sea water quality standard). NO_3 – N was the dominated component of DIN in this area, accounted for 78.08% ~ 88.89% of total DIN. PO_4 – P may be the critical factor in the growth and reproduce process of phytoplankton, and had a vital influence on the primary productivity of this domain. The contents of nutrients (N, P, Si) presented distinct variations between months, years and spaces.

Key words: Sandu Bay; cultivation zones; nutrients; characteristics