

獐子岛养殖海域氮、磷的分布特征

张继红¹ 王 巍¹ 蒋增杰¹ 方建光¹ 王诗欢² 臧有才² 薛素艳¹

(¹ 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(² 大连獐子岛渔业集团股份有限公司, 116001)

摘 要 根据 2005 年 4 个季节的调查资料, 研究了獐子岛养殖海域的氮、磷营养盐的季节变化及平面分布特性, 重点分析了 7 月营养盐、叶绿素及环境因子的相关性, 探讨了与底播养殖的可能内在联系。结果表明, 溶解性无机氮、活性磷酸盐的平面分布和垂直分布较均匀, 仅在 7 月, 表底层的氨氮浓度及磷酸盐浓度存在显著性差异。根据氮磷摩尔比和浮游植物生长的阈值分析, 在该海区氮、磷营养盐限制呈季节性交替变化, 7 月磷限制的潜在性较大, 3 月和 5 月氮限制的潜在性较大。尽管目前的养殖生产活动并未对该海域的营养盐浓度产生较大的影响或压力, 但是, 3、5 和 7 月底层水的无机氮以氨氮为主以及贝类养殖密度较大的区域叶绿素浓度较低的现象, 可能与养殖活动有关, 应引起关注。

关键词 营养盐 营养盐结构 叶绿素 獐子岛 底播养殖

中图分类号 P734.4; S931.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2009)06-0088-09

Distribution features of nitrogen and phosphorus in Zhangzi Island maricultural area

ZHANG Ji-hong¹ WANG Wei¹ JIANG Zeng-jie¹ FANG Jian-guang¹
WANG Shi-huan² ZANG You-cai² XUE Su-yan¹

(¹ Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Qingdao 266071)

(² Zhangzi Island Fisheries Group, Dalian 116001)

ABSTRACT The distribution and composition of dissolved nutrients in Zhangzi Island maricultural areas were discussed based on the data collected in March, May, July and October, 2005. The results showed that because of large current velocity, the horizontal distribution of nitrogen and phosphorous were symmetrical and there were no obvious stratification between surface and bottom water(except in July). The nutrient level of DIN and PO_4^{3-} in the surveyed areas belong to oligotrophic state. Nutrient limitations were assessed according to the ratio of Nitrogen/Phosphorus(N/P) and the concentration threshold, results showed that the limiting nutrients may change with seasons. There was high potential for phosphorous limitation of the photosynthesis of phytoplankton in July and nitrogen limitation in March and May. Though this

公益性行业专项(nyhyzx07-047)、国家 863 计划课题(2006AA100304)、国家科技支撑计划课题(2006BAD09A02)和企业资助课题“獐子岛海域养殖容量研究”共同资助

收稿日期:2008-10-16;接受日期:2009-02-25

作者简介:张继红(1969-)女,研究员,主要从事贝类养殖技术与理论研究。E-mail:zhangjh@ysfri.ac.cn, Tel:(0532)85822957

survey revealed that there was little effect or impact of mariculture on the environment, the nutrients structure had change somewhat. For example, in March, May and July, DIN were the major component of ammonia the bottom water, and the relatively low concentrations of chlorophyll usually found at the extensive bottom culture areas may all reflect the activity of mariculture, which needs further study in the future.

KEY WORDS Nutrient Nutrient composition Chlorophyll Zhangzi Island
Bottom mariculture

氮磷生源要素是海洋浮游植物及大型藻类生长繁殖所必需的物质基础,其在水环境中的分布、变化及结构特征控制着海洋生态系统中的初级生产过程,影响着生物资源量的变动。獐子岛位于黄海北部,是我国北方主要海珍品养殖基地之一。目前,对黄海营养盐的研究已有不少报道(王保栋等 1999,2000;高生泉等 2004),但是,由于调查范围的局限性,研究的区域未能覆盖整个黄海,对于北纬 39°以北的区域的调查资料很少,未见有关獐子岛养殖水域的氮磷生源要素等方面的研究报道。

本文根据 2005 年 4 个季度的调查资料,对氮、磷营养盐的分布特征、季节变化规律及营养盐结构状况进行了分析研究。同时,结合所调查的浮游植物分布特征和温度及盐度环境资料,探讨分析了营养盐、浮游植物及温度、盐度等环境因子的相关分析,为该海域虾夷扇贝养殖容量的评估和健康养殖模式的建立提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 站位的设置及参数的测定方法

分别于 2005 年 3 月 14~16 日、5 月 21~23 日、7 月 16~17 日和 10 月 18~20 日对大连獐子岛养殖海域营养盐水平进行了 4 个航次的调查,调查海区为大连獐子岛渔业集团股份有限公司所属开放型水域,位于獐子岛、浴礁岛及大耗子岛之间,调查范围介于北黄海 39°00'~39°05'N,122°43'~122°50'E。该海域的养殖方式以底播养殖为主,养殖的主要种类包括虾夷扇贝、海参、皱纹盘鲍和紫海胆等。本次调查采用网格方法布站,共设 18 个站位(见图 1)。15# 和 33# 分别位于獐子岛和大耗子岛的附近,是虾夷扇贝底播养殖密度较高的区域。

用 Niskin 采水器采取表层、底层海水。水样经 0.45 μm 醋酸纤维滤膜过滤后,参照《海洋调查规范》进行有关参数的测定。NH₄⁺-N 测定采用次溴酸钠氧化法,NO₃⁻-N 测定采用锌-镉还原法,NO₂⁻-N 测定采用重氮-偶氮法。可溶性活性磷酸盐采用磷钼蓝法测定。叶绿素、水温和盐度等指标使用美国 YSI-6600 型水质分析仪现场测定。叶绿素 a 的测定方法参照 Parsons 等(1984)所描述的方法,水样经 0.45 μm 滤膜过滤,90% 丙酮萃取后,以荧光计测定。获得叶绿素 a 与 YSI6600 测得叶绿素之间的关系式,对 YSI6600 叶绿素探头测定的结果进行校对。

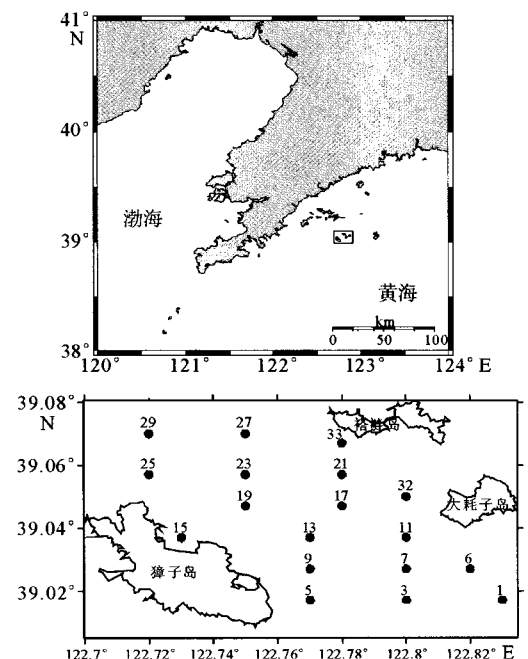


图 1 獐子岛养殖海区调查站位

Fig. 1 Investigation station in Zhangzi Island maricultural area

1.2 数据分析方法

利用 SPSS10.0 统计软件进行数据分析。各站位表、底层营养盐、温度和盐度等参数的差异分析采用 Paired-sample T test 分析方法。叶绿素浓度、氮、营养盐浓度、温度和盐度之间的相关性分析采用 Pearson Correlations 分析方法。 $P < 0.05$ 为差异性显著; $P < 0.01$ 为差异性极其显著。

2 结果与讨论

图 1 示调查海区的站位设置情况。除 15[#] 和 33[#] 站的水深较浅以外(分别为 10 m 和 21 m),其他各调查站位的水深都在 30~40 m 之间。调查期间水温的季节性变化非常显著,变化范围在 1.0~20.3 °C 之间,仅在 7 月,表层水温显著高于底层($P < 0.05$),其他季节,表、底层的水温没有显著性差异。盐度的变化范围在 31.97~32.01 之间,平均为 31.97 ± 0.046 ,仅在 5 月份,表层盐度显著低于底层($t = -7.854, df = 16, P = 0.0 < 0.01$)。

2.1 无机氮浓度平面分布的特性

7 月总无机氮的浓度最高(表、底层分别为 $11.08 \pm 12.40, 8.74 \pm 2.72 \mu\text{mol/L}$),表层最低值出现在 3 月份,底层的最低值出现在 5 月份。4 个月的表层与底层的溶解性无机氮浓度都无显著性差异($P > 0.05$),平面分布较均匀(图 2)。3 月表层溶解性无机氮的分布呈现南高北低,东高西低的趋势;底层的分布趋势与表层相反,高值区在靠近獐子岛的 15[#] 附近,等值线与獐子岛的岸线平行,向外递减。5 月调查海域的表层水溶解性无机氮的分布均匀,靠近 3 个岛的区域浓度略高;底层水无机氮靠近獐子岛的区域有一个明显的高值区,浓度超过 $8 \mu\text{mol/L}$,等值线密集,由此向外递减,东南部靠近大耗子岛附近的浓度较低,浓度仅为 $1 \mu\text{mol/L}$ 。7 月表层水无机氮的浓度北部的 3 个站位(23[#], 29[#], 33[#])有异常的高峰值外,中部及南部区域的浓度较低。在 21[#] 与 23[#] 站位之间,有少量养殖鱼类的网箱,北方网箱鱼类养殖受水温条件的限制,养殖期较短,通常从春季 4~5 月份开始,至秋季 10 月结束。7 月份该区域溶解性无机氮的异常高值可能与鱼类网箱养殖有关,尚需进一步的研究;底层水也是中部区域的浓度较低。10 月的分布趋势是西北部及中部的浓度略高,南部略低。总体上(除 7 月外),底层水无机氮都是靠近獐子岛附近的区域浓度略高。

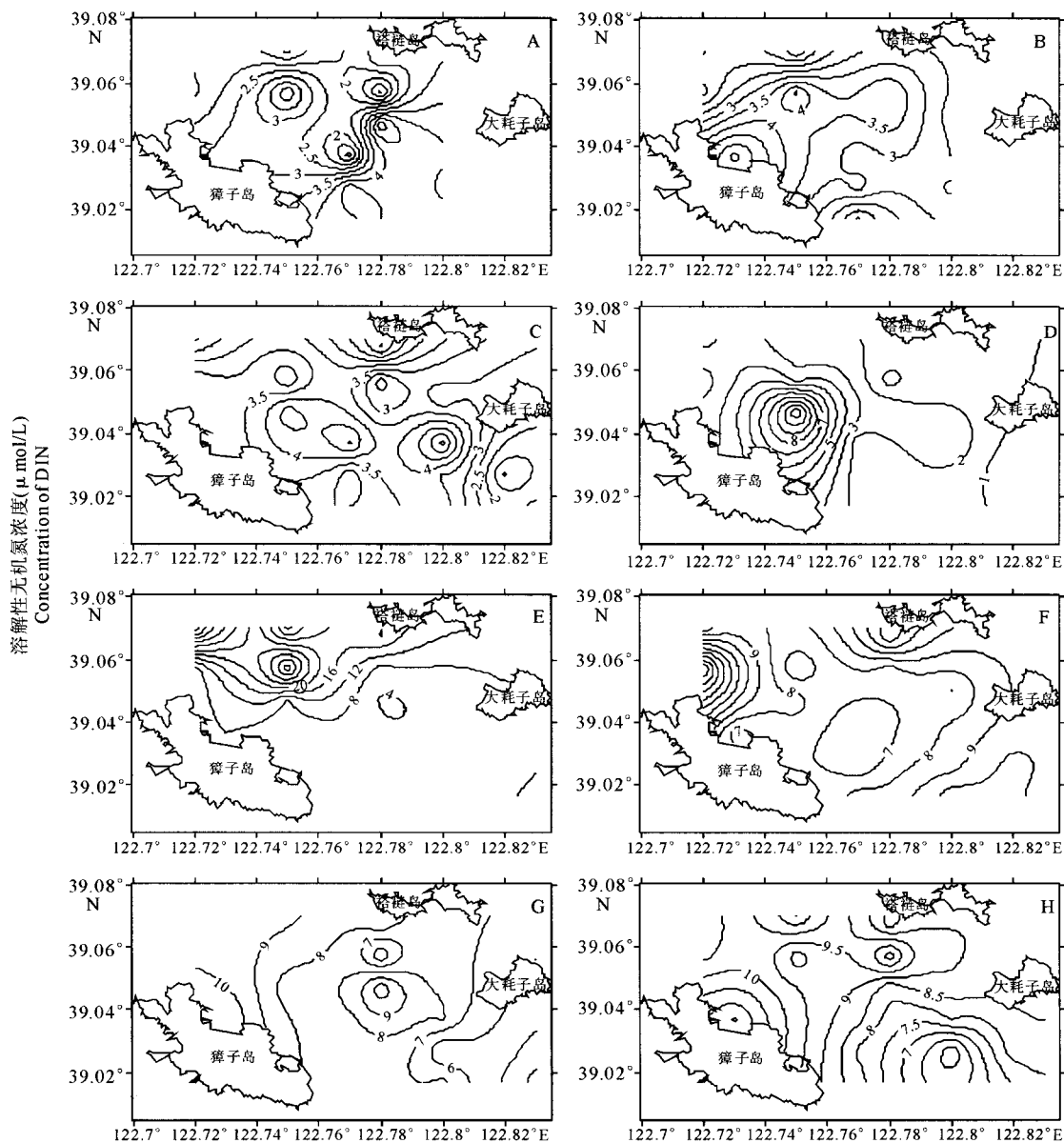
7 月底层的氨氮浓度显著高于表层($t = -5.687, df = 17, P = 0.000 < 0.01$),尽管其他季节表底层的氨氮浓度没有统计学上的差异,但是,3 月和 5 月的氨氮浓度都是底层高于表层。表底层无机氮的结构不同,表层以硝酸盐为主要成分,其次为氨氮;底层除 10 月以硝酸盐为主外,其他季节都是以氨氮为主,硝酸盐次之。氨氮的平面分布情况见图 3。3、5 及 10 月,氨氮的平面分布趋势与溶解性无机氮的分布趋势基本一致。7 月表、底层氨氮等值线比较稀疏,平面分布较均匀;表层在靠近獐子岛的中北部含量相对较高,沿獐子岛向外递减,底层在北部有高值区,南部有次高值区,靠近褡裢岛的中部区域浓度略低。

2.2 磷酸盐浓度的平面分布特性

溶解性活性磷酸盐浓度的季节性变化与总无机氮的变化趋势相反,最高值出现在 3 月,平均为 $0.62 \pm 0.16 \mu\text{mol/L}$;最低值出现在 7 月,底层浓度显著高于表层($t = -2.866, df = 17, P = 0.011 < 0.05$)。3 月和 10 月,表层、底层磷酸盐浓度无显著性差异($P > 0.05$)。5 月除表层 23[#] 出现高值外(该站点的无机氮的浓度并没有显著的高值,因此,取样或实验的偶然性误差的可能性较大),其他各站位之间差异不显著。图 4 示活性磷酸盐浓度的平面分布情况。3 月份表层磷酸盐的分布趋势从北部向南部递增,整个区域的浓度变化较小,等值线稀疏;底层是中部的浓度略高。5 月表层磷酸盐的高值区在西北部,其他区域浓度变化很小;底层水磷酸盐分布较均匀,南部区域略高。7 月表层水磷酸盐浓度变化很小,分布趋势与底层相反,在靠近獐子岛的中西部的值略高,东南部较低;底层水是中部区域的浓度略低,向四周逐渐增大。10 月份,表层、底层磷酸盐浓度的平面分布趋势相近,都是整体分布较均匀,中部略高。

7 月底层的氨氮和磷酸盐显著高于表层,一方面可能与底层大规模的养殖有关。通常在适温范围内,随着

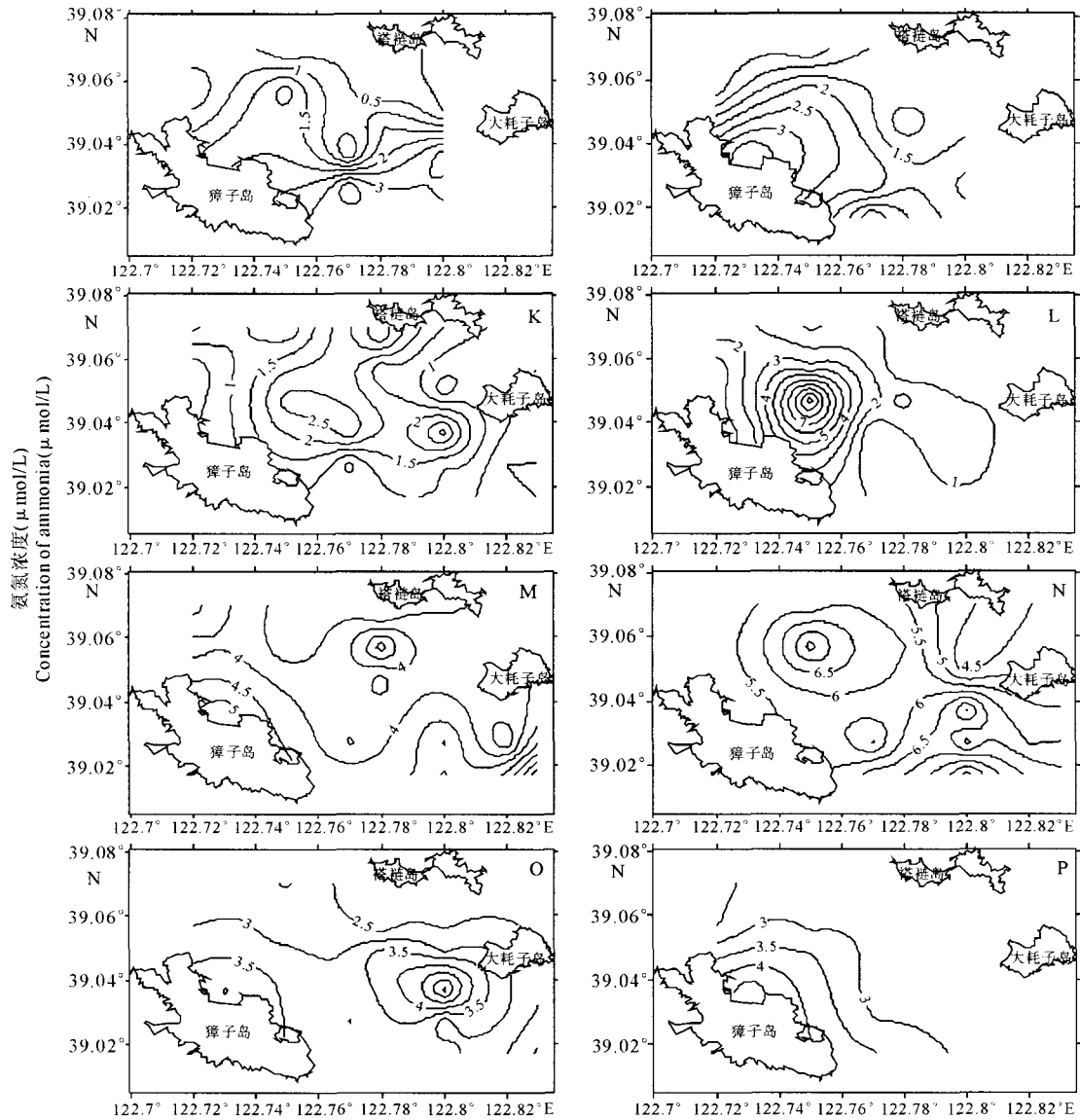
水温的升高,贝类的氨氮等代谢活动增强(Hutchinson *et al.* 1992;Khalil 2008);据报道,贝类的代谢活动不仅能够产生大量的氨氮等溶解性无机氮,而且,也能产生磷酸盐(Magni *et al.* 2000)。另一方面,可能与表层水浮游植物繁殖大量消耗营养盐有关。因为,随着水温的升高,浮游植物生长繁殖旺盛,初级生产力增大(张继红等 2008),对营养盐的消耗也随之增加。从叶绿素浓度与环境因子的相关性分析可见,7月表层水中叶绿素浓度与水温呈显著的正相关(表1)。而獐子岛海域位于黄海冷水团的边缘,7月温跃层较为明显,海水垂直交换较弱,使得底层的营养盐不能补充到表层。田恬等(2003)通过模型研究认为,黄海水文环境在很大程度上影响着营养盐的分布和生态功能,7月的层化使得表层水营养盐匮乏,底层冷水团营养盐大量蓄积。



A:3月表层 March surface;B:3月底层 March bottom;C:5月表层 May surface;D:5月底层 May bottom;
E:7月表层 July surface;F:7月底层 July bottom;G:10月表层 October surface;H:10月底层 October bottom

图2 大连獐子岛海区四季表层、底层无机氮平面分布特性

Fig. 2 Horizontal distribution of nitrogen in surface and bottom water during 4 seasons



I:3月表层 March surface;J:3月底层 March bottom;K:5月表层 May surface;L:5月底层 May bottom;M:7月表层 July surface;N:7月底层 July bottom;O:10月表层 October surface;P:10月底层 October bottom

图3 大连獐子岛海区四季表层、底层氨氮浓度的平面分布特性

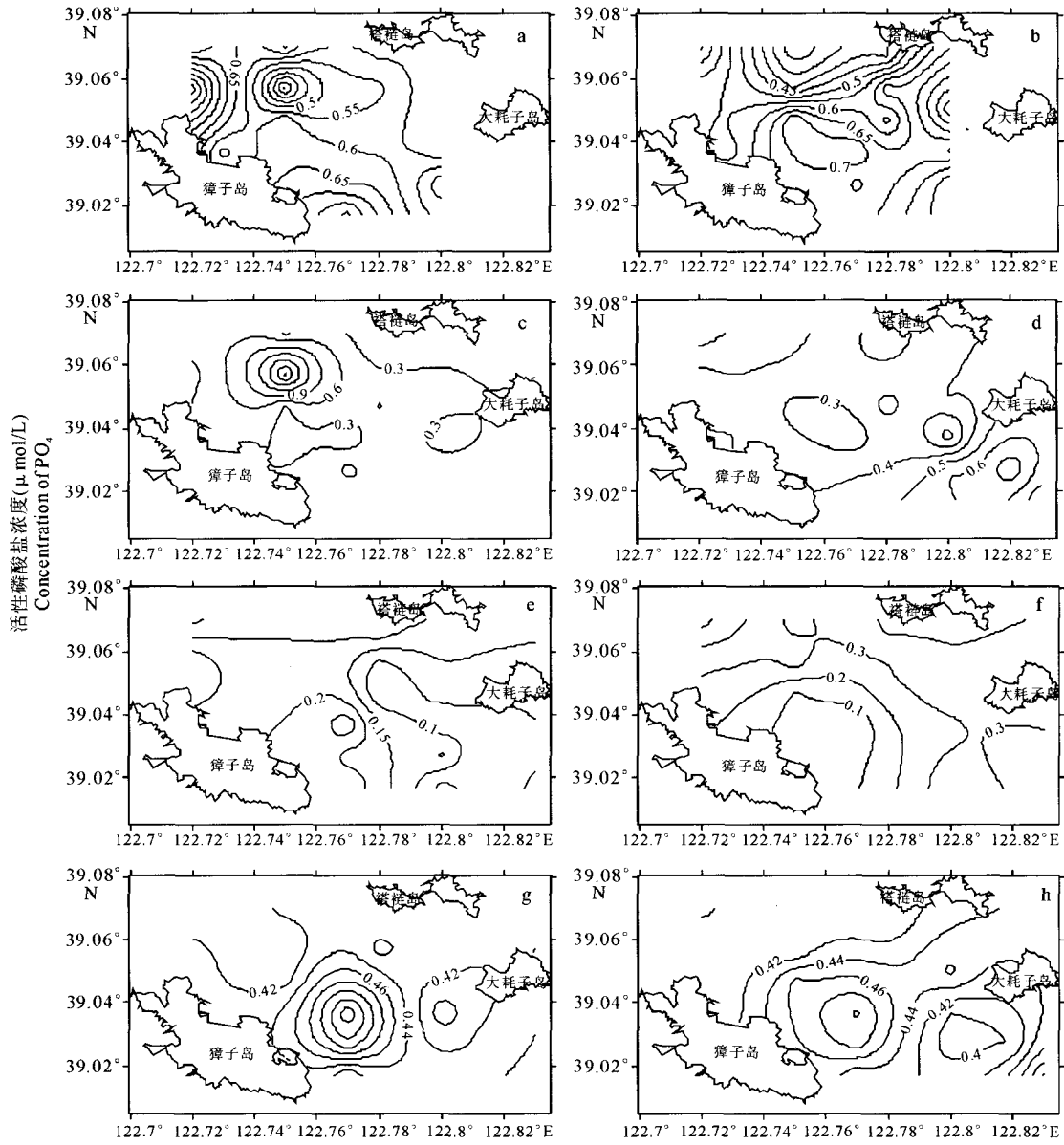
Fig. 3 Horizontal distribution of ammonia in surface and bottom water during 4 seasons

表1 7月表、底层叶绿素浓度及水环境因子相关性分析

Table 1 Pearson Correlations of chlorophyll and environmental factors at July($n=17$)

	水温 Temperature		无机氮 DIN		磷酸盐 PO_4-P		叶绿素 Chl a		氮磷比 Ratio of N/P	
	表层 Surface	底层 Bottom	表层 Surface	底层 Bottom	表层 Surface	底层 Bottom	表层 Surface	底层 Bottom	表层 Surface	底层 Bottom
盐度 Salinity	-0.639**	-0.250	-0.135	-0.488*	-0.742**	-0.431	-0.269	0.134	0.217	0.323
水温 Temperature			0.300	-0.152	0.608*	-0.157	0.477**	-0.033	-0.058	0.163
无机氮 DIN					0.451	0.329	0.085	0.086	0.671**	-0.223
磷酸盐 PO_4-P							0.421	0.001	0.009	-0.144
叶绿素 CHLA									-0.002	-0.071

注:**为0.01显著水平下的相关;*为0.05显著水平下的相关



a:3月表层 March surface;b:3月底层 March bottom;c:5月表层 May surface;d:5月底层 May bottom;
 e:7月表层 July surface;f:7月底层 July bottom;g:10月表层 October surface;h:10月底层 October bottom

图 4 大连獐子岛海区四季表层、底层活性磷酸盐浓度的平面分布

Fig. 4 Horizontal distribution of phosphate during 4 seasons in Zhangzi Island

2.3 氮磷摩尔比的季节变化特性

图 5 为 4 个航次各站位的氮磷摩尔比情况。

尽管无机氮浓度或磷酸盐浓度的平面分布较均匀,但是,氮磷的摩尔比在 3、5 和 7 月的各站位之间都表现出显著的区域分布特性。兼顾营养盐化学计量限制标准和营养盐对浮游植物生长影响的阈值(DIN-limitation; $DIN < 1 \mu\text{mol/L}$ and $DIN/PO_4^{3-} < 10$; P-limitation; $PO_4^{3-} < 0.2 \mu\text{mol/L}$ and $DIN/PO_4^{3-} > 30$ (Dortch *et al.* 1992),据此来评估,獐子岛海域浮游植物生长磷限制仅出现在 7 月,在调查的 18 个站位中,表层有 13 个检测样品为磷限制,占 72%;底层磷限制的概率仅为 28%。5 月底层氮限制的概率较高,为 56%,其次为 3

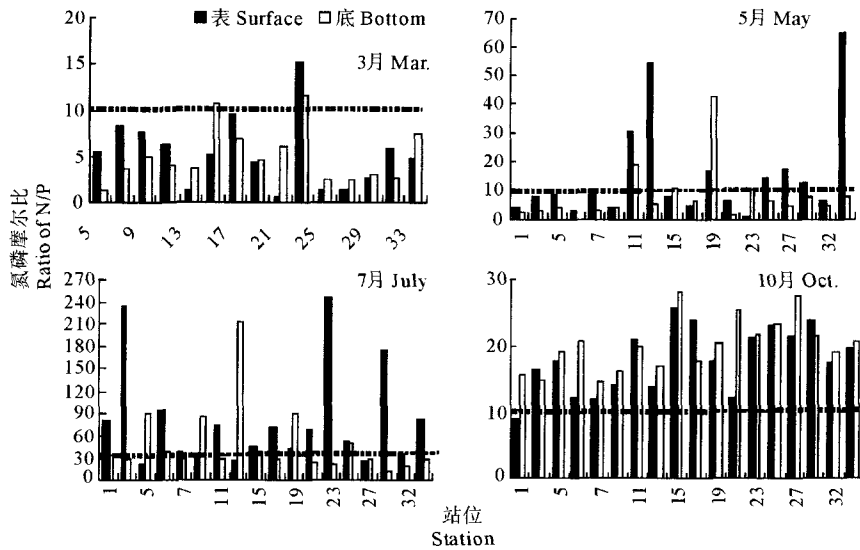


图5 4个季节各站位的氮磷摩尔比情况

Fig. 5 Mole ratio of N and P during 4 seasons in Zhangzi Island

月的表层,氮限制的的概率为33%。Fisher等(1992)研究指出,氮或磷的限制性具有空间变化的特性,在同一海区,氮、磷营养盐限制存在季节性交替变化的特点。獐子岛调查海域的营养盐受陆源的影响较小,因此在3月和5月浮游植物生长受氮限制的潜在性较大,这符合海洋环境中浮游植物生长受氮限制的一般规律。

2.4 叶绿素浓度的平面分布特征

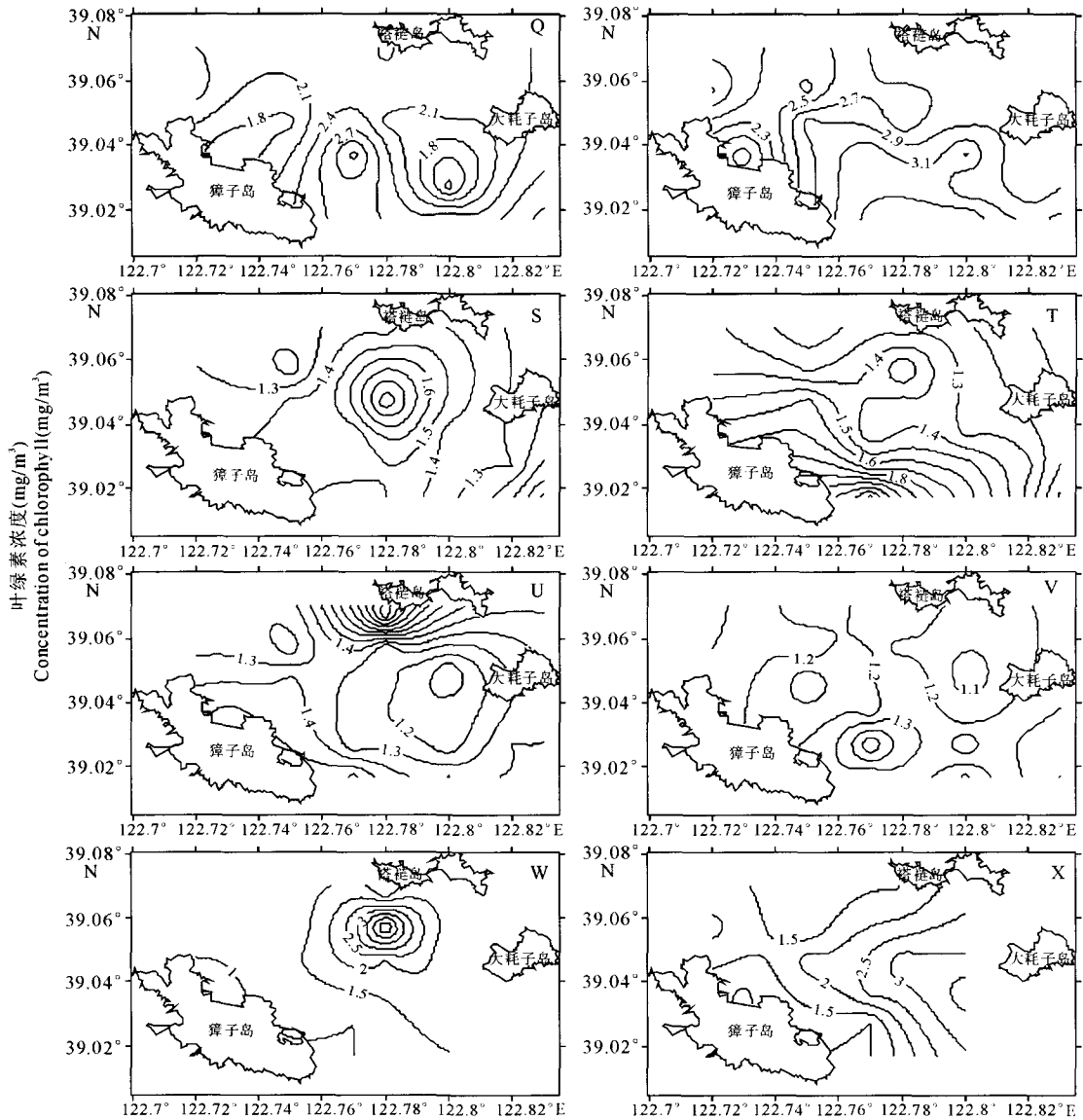
调查海区叶绿素浓度在 $1.23\sim 2.85\text{ mg/m}^3$ 范围内,4个月份的均值为 $1.78\pm 0.57\text{ mg/m}^3$ 。叶绿素浓度的高值出现在3月,低值出现在7月。除7月表层叶绿素浓度略高于底层外,其他季节的叶绿素浓度都是底层高于表层,其中,3月份表底层的差异性极其显著($t=-4.365, df=17, P=0.0<0.01$)。

总体来看,5月和7月平面分布较均匀,3月和10月各站位的叶绿素浓度略有波动。3月份表层和底层水都是中部区域的叶绿素浓度略高,向獐子岛方向递减,10月表层、底层的叶绿素浓度都是靠近獐子岛附近的区域略低(图6)。靠近獐子岛的15#是虾夷扇贝养殖密度比较高的区域。15#底层的叶绿素浓度较低,5月份的数据缺失,其他3个季节的浓度都显著低于调查海域的平均值(3月份15#叶绿素浓度为 $1.78\text{ mg/m}^3<$ 均值 $2.85\pm 0.44\text{ mg/m}^3$;7月 $1.20<1.24\pm 0.14\text{ mg/m}^3$;10月份 $0.93<2.09\pm 0.92\text{ mg/m}^3$)。

2.5 结论

3、5和10月表、底层水中的营养盐浓度没有显著性差异。在该海区氮、磷营养盐限制呈季节性交替变化,7月磷限制的潜在性较大,3和5月氮限制的可能性较大。大连獐子岛海区水质的营养级总体上属贫营养型,氮、磷浓度在国家一级水质标准所规定的浓度范围内。

在所调查的海区范围内,獐子岛及大耗子岛附近站点(15#, 33#)的营养盐浓度并未有显著增加的现象,显示来自这两个岛的营养物质的输入对该海区的影响非常小。从平面分布趋势来看,3、5及10月底层水无机氮及氨氮浓度都是靠近獐子岛附近的区域(獐子岛沿岸区域也是底播养殖虾夷扇贝的主要区域)浓度略高,而且,3、5和7月底层水中的无机氮以氨氮为主,在近岸养殖密度较高的海域,底层水中叶绿素浓度较低,推测这些现象可能与养殖生物的代谢及摄食活动有关,但是,贝类养殖活动与营养盐浓度、叶绿素浓度等之间的关系复杂。因此,尚需对养殖海域进行长期的调查研究,进一步的研究贝类养殖活动与生态环境的相互作用关系,合理开发利用有限的海域资源,保证养殖产业的可持续发展。



Q:3月表层 March surface;R:3月底层 March bottom;S:5月表层 May surface;T:5月底层 May bottom;
U:7月表层 July surface;V:7月底层 July bottom;W:10月表层 October surface;X:10月底层 October bottom

图 6 獐子岛海域叶绿素浓度的水平分布特性

Fig. 6 Seasonal variation of surface and bottom chlorophyll in investigated areas

参 考 文 献

王保栋,王桂云,郑昌洙,梁东范. 1999. 南黄海营养盐的平面分布及横向输运. 海洋学报, 21(6): 124~129

王保栋. 2000. 黄海冷水域生源要素的变化特征及相互关系. 海洋学报, 22(6): 47~54

田 恬,魏 浩,苏 建,郑昌硕,孙文心. 2003. 黄海氮磷营养盐的循环和收支研究. 海洋科学进展, 21(1): 1~11

张继红,方建光,蒋增杰,王 巍,王诗欢,孙 松. 2008. 獐子岛养殖水域叶绿素含量时空分别特征及初级生产力季节变化. 海洋水产研究, 29(4): 22~28

高生泉,林以安,金明明,高大伟. 2004. 春、秋季东、黄海营养盐的分布变化特征及营养结构. 东海海洋, 22(4): 28~50

Dortch, Q., and Whitley, T. E. 1992. Does nitrogen or silicon limit phytoplankton production in the Mississippi plume and nearby regions? Cont. Shelf. Res. 12: 1 293~1 309

Fisher, T. R., Peele, E. R., Ammerman, J. W. et al. 1992. Nutrient limitation of phytoplankton in Chesapeake Bay. Mar. Ecol. Prog. Ser. 2: 51~63

- Hutchinson, S., and Hawkins, L. E. 1992. Quantification of the physiological responses of the European flat oyster *Ostrea edulis* L. to temperature and salinity. *J. Moll. Stud.* 58:215~226
- Justic, D., Rabalais, N. N., and Turner, R. E. 1995. Stoichiometric nutrient balance and origin of coastal eutrophication. *Mar. Pollution Bull.* 30(1): 41~45
- Khalil, A. M. 2008. Influence of starvation, body size and temperature on ammonia excretion in the marine bivalve *Tapes decussates* (L.). *Aquaculture Res.* 25(8):839~847
- Magni, P., Montani, S., Takada, C., and Tsutsumi, H. 2000. Temporal scaling and relevance of bivalve nutrient excretion on a tidal flat of the Seto Inland Sea, Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 198:139~155