

莱州湾和桑沟湾养殖海区主要营养盐的 周年变动及限制因子

刘 慧¹, 方建光¹, 董双林², 王立超³, 连 岩³

(1. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;

2. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003; 3. 荣成水产研究所, 山东 荣成 264300)

摘要:于2001年3月至2002年3月在2个典型养殖海湾——莱州湾和桑沟湾,对其海水中主要营养盐进行了周年监测。结果显示,在莱州湾,总无机氮(TIN)浓度春季最低,冬季最高;活性磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$)浓度春季最高,冬季最低;活性硅酸盐($\text{SiO}_3^{2-}-\text{Si}$)浓度夏季最高,春季和秋季最低;N与P的浓度比 $[C(\text{N})/C(\text{P})]$ 变化范围为1.145~128.61,年平均值为 21.066 ± 22.712 。Si与N的浓度比 $[C(\text{Si})/C(\text{N})]$ 的变化范围为0.000~0.922,年平均值为 0.241 ± 0.280 。说明Si有可能是该湾主要的限制性元素。在莱州湾,总无机氮(TIN)浓度春季最低,夏季最高;活性磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$)浓度冬季最高,夏季最低;活性硅酸盐($\text{SiO}_3^{2-}-\text{Si}$)浓度夏季最高,最低值出现在春季和秋季; $C(\text{N})/C(\text{P})$ 的变化范围为1.482~149.935,年平均值为 18.080 ± 28.854 ;除夏、秋季部分月份外,N限制的可能性较大。 $C(\text{Si})/C(\text{N})$ 的变化范围为0.000~2.840,年平均值为 0.387 ± 0.609 ,但大部分时间为0.5以下,表明Si也可能是桑沟湾的主要限制性营养盐。

关键词:莱州湾;桑沟湾;营养盐;限制因子

中图分类号:P734.44

文献标识码:A

文章编号:1005-8737-(2003)03-0227-08

对于中国的4大海区,在限制性营养盐方面研究比较多的有东海和台湾海峡^[1-2]以及山东半岛沿岸的莱州湾黄河口一带和胶州湾^[3-6]等,但大多数研究只是初步的,特别是有关浅海养殖系统与限制性营养盐的相互作用方面,不仅国内尚无报道,在国际上有关研究亦不多见。海区营养盐的比例失衡或营养盐限制,是造成其浮游植物贫乏或浮游植物种类组成改变的重要原因。筏式养殖的生产力直接或间接依赖于海区的营养盐状况。本研究目的旨在探讨莱州湾和桑沟湾海区的主要营养盐变动情况,从而找到制约两湾养殖产量的关键因素。

莱州湾位于山东半岛北部,北临渤海,总面积6966.93 km²^[7]。莱州湾海区筏式养殖以海湾扇贝

为主,从1987年开始试养,1994~2002年一直维持在1000~1333 hm²。其中,从金城镇到三山岛一带的扇贝产量占莱州湾总产量的80%。

桑沟湾位于山东半岛东端,为半封闭型海湾,总面积133.3 km²。从20世纪80年代初开始贝类的规模化养殖。目前,除了大规模的贝类养殖(总面积3667 hm²,主要品种有牡蛎、扇贝、贻贝等),其海带养殖面积也达到了2667 hm²^①。

1 材料与方法

1.1 实验时间

从2001年3月至2002年3月,除2002年2

收稿日期:2002-08-23; 修订日期:2002-11-25.

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目资助(G1999012011).

作者简介:刘 慧(1967-),女,在读博士,主要从事无脊椎动物发育生物学与水产养殖生态学研究.

通讯作者:方建光. E-mail: fangjg@ysfri.ac.cn

①注:山东沿海筏式养殖通常每亩挂笼400个,每笼产量6~7 kg,即36000~42000 kg/hm²。但每1养殖亩实际占用水面在烟台和威海地区各不相同。在莱州湾地区,1亩相当于6台筏架,筏间距8~15 m,每道梗长70~80 m,1养殖亩实际占用水面10亩左右;在荣成,每亩5道梗,筏间距为4~5 m,每养殖亩占水面2.5亩。因此,为了统一所使用的单位,本文中一律将养殖亩换算成hm²。

月,每月采样1次,共进行12次。

1.2 取样地点与方法

1.2.1 取样地点

(1)莱州湾海区共设3个采样点(见图1),分布在莱州市金城镇海湾扇贝养殖区附近。其中,A点在养殖区外侧,定名为湾口;B点在贝类养殖区内,定名为湾中部;C点在养殖区近岸侧,定名为湾底。

(2)桑沟湾海区也设3个采样点(见图2),分布在湾口连线到湾内近岸点。其中,A点在湾口,即海带养殖区;B点在湾中部,即海带和贝类混养区;C点在湾北部近岸处,为湾底。

1.2.2 采样方法 在莱州湾利用快艇,桑沟湾利用渔政机动船采样。取表层海水,在不做任何预处理的情况下,分别装于50 L塑料桶中。运输途中放置阴凉处,尽快带回实验室进行分析。

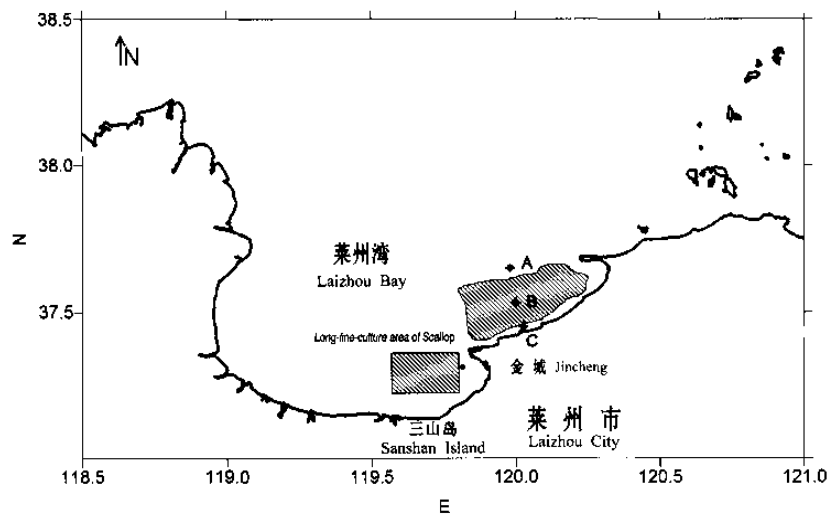
1.3 测定方法

1.3.1 前处理 从各采样点取1 000 mL水样,经0.45 μm 微孔滤膜过滤后,测定主要营养盐(三氮、活性磷和活性硅)含量。采样到测定的时间一般不超过24 h。活性硅因无法在当地测定,部分水样冷冻保存。

1.3.2 三氮的测定 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 测定采用次溴酸钠氧化法, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 测定采用锌-镉还原法, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 测定采用重氮-偶氮法^[8]。

1.3.3 活性磷酸盐的测定 用磷钼蓝法测海水中的可溶性磷酸盐^[8]。

1.3.4 活性硅酸盐的测定 用AA-Ⅲ型营养盐自动分析仪,采用硅钼蓝法测定水样中的可溶性硅酸盐。



+ A: $\text{N}37^{\circ}30.864'$, $\text{E}120^{\circ}05.507'$; B: $\text{N}37^{\circ}29.264'$, $\text{E}120^{\circ}05.405'$; C: $\text{N}37^{\circ}28.454'$, $\text{E}120^{\circ}05.157'$

图1 莱州湾的3个采样点(A、B、C)

Fig.1 The three sampling stations (A,B,C) in Laizhou Bay

2 结果

2.1 莱州湾海区的主要营养盐

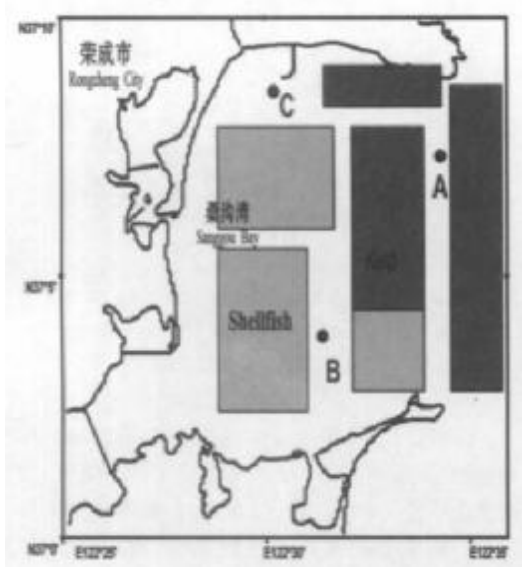
莱州湾海区3种主要营养盐的测定结果如图3~10所示。

TIN浓度春季最低,冬季最高,变化范围为3.683~17.552 $\mu\text{mol/L}$,年平均值为 (8.412 ± 3.803) $\mu\text{mol/L}$ 。其中,5月份最低,随后缓慢、波动上升,在1月份达到最高峰,并在春季迅速下降。3

个采样点比较,湾口波动幅度最小,湾底波动幅度最大。说明湾口受营养盐含量较稳定的外海水影响较大,而湾底受沿岸淡水输入及养殖生物的影响较大。

$\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度变化的图形与TIN最为接近,说明 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 是构成TIN的主要成分;变化范围1.027~14.932 $\mu\text{mol/L}$,年平均值 (6.046 ± 3.857) $\mu\text{mol/L}$ 。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度波动较大,春、夏、秋季各有高值,变化范围0.304~6.438 $\mu\text{mol/L}$,年平均值 (2.073 ± 1.532) $\mu\text{mol/L}$ 。 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度变化范围

0.000 ~ 0.768 $\mu\text{mol/L}$, 年平均值 (0.293 ± 0.264) $\mu\text{mol/L}$, 在夏季形成明显的单峰。3 个采样点之间各测值变异并不太大, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量除个别月份有交错或差异不明显外, 总的趋势是湾口最低而湾底最高。同时, 从其波动范围来看, 也是湾底波动较大, 而湾口走势较平稳。



A: N 37°07.014', E 122°34.140'
 B: N 37°04.979', E 122°30.498'
 C: N 37°08.348', E 122°30.118'

图2 桑沟湾的3个采样点

Fig. 2 The three sampling stations in Sanggou Bay

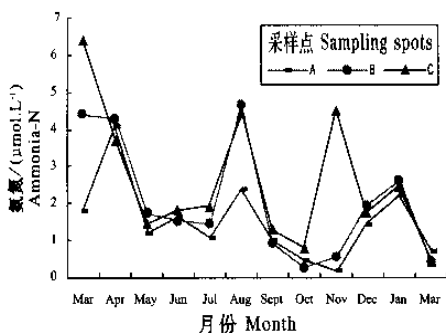


图3 莱州湾氨氮浓度全年实测值(2001.3 - 2002.3)
 Fig. 3 Annual concentration of ammonia in Laizhou Bay (Mar. 2001 - Mar. 2002)

$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 浓度春季最高, 并有单峰; 夏、秋季维持在较低水平, 最低值出现在冬季; 变化范围 0.100 ~ 4.333 $\mu\text{mol/L}$, 年平均值 (0.959 ± 1.036)

$\mu\text{mol/L}$ 。 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 含量在 3 个站点之间的波动规律比较类似, 大部分时间测值接近或差异不明显, 不过仍可看出湾口稍高而湾底稍低。

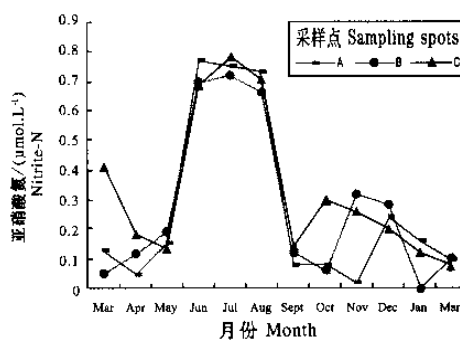


图4 莱州湾亚硝酸氮全年实测浓度(2001.3 - 2002.3)
 Fig. 4. Annual concentration of nitrite in Laizhou Bay (Mar. 2001 - Mar. 2002)

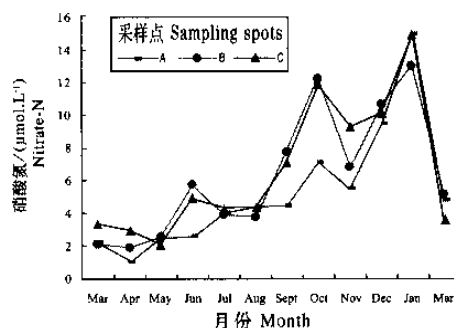


图5 莱州湾硝酸氮全年实测浓度(2001.3 - 2002.3)
 Fig. 5 Annual concentration of nitrate in Laizhou Bay (Mar. 2001 - Mar. 2002)

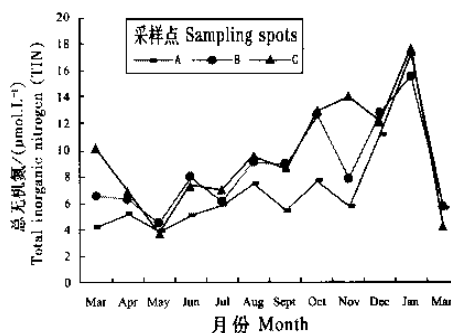


图6 莱州湾总无机氮全年实测浓度(2001.3 - 2002.3)
 Fig. 6 Annual concentration of TIN in Laizhou Bay (Mar. 2001 - Mar. 2002)

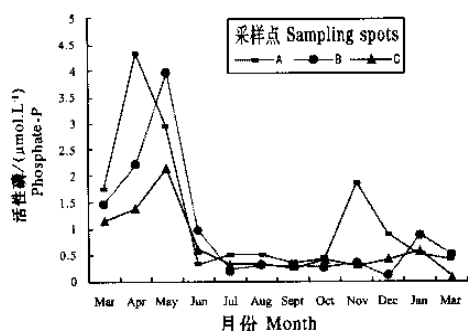


图7 莱州湾活性磷全年实测浓度(2001.3-2002.3)
Fig. 7 Annual concentration of phosphate in Laizhou Bay
(Mar. 2001 - Mar. 2002)

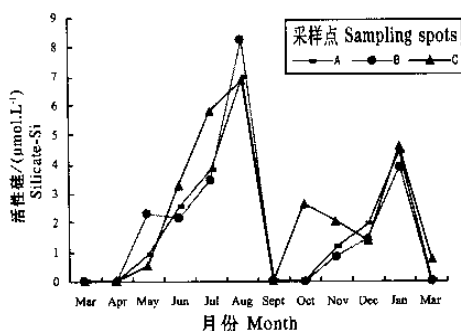


图8 莱州湾活性硅全年实测浓度(2001.3-2002.3)
Fig. 8 Annual concentration of silicate in Laizhou Bay
(Mar. 2001 - Mar. 2002)

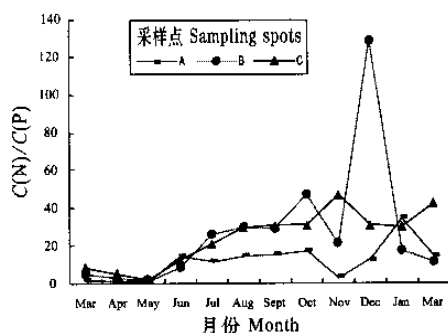


图9 莱州湾全年氮磷浓度比(2001.3-2002.3)
Fig. 9 Annual ratio of C(N)/C(P) in Laizhou Bay
(Mar. 2001 - Mar. 2002)

$\text{SiO}_3^{2-} - \text{Si}$ 浓度变化范围 $0.000 \sim 8.249 \mu\text{mol/L}$, 年平均值 $(1.994 \pm 2.298) \mu\text{mol/L}$ 。春季和秋季最低, 而夏季最高。从3月到8月有逐渐升高的趋势,

9月突然下降, 以后又起伏上升, 在1月份达到全年的次高峰。 $\text{SiO}_3^{2-} - \text{S}$ 含量在3点之间总体来看趋于一致, 仅湾底在10月份有明显的上突, 而湾中部在5月和8月份测值稍高于其他两点。

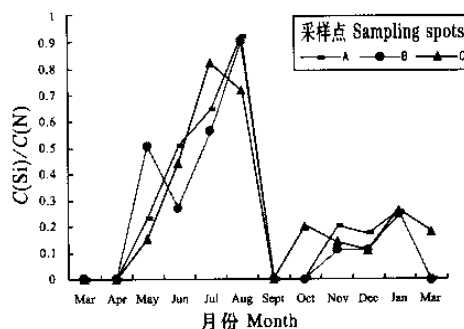


图10 莱州湾全年硅氮浓度比(2001.3-2002.3)
Fig. 10 Annual ratio of C(Si)/C(N) in Laizhou Bay
(Mar. 2001 - Mar. 2002)

$C(N)/C(P)$ 变化范围是 $1.145 \sim 128.61$, 年平均值为 21.066 ± 22.712 。事实上, $C(N)/C(P)$ 变化范围几乎始终在 $0 \sim 50$, 仅在12月份湾中部有一个上突。从3个采样点的比较来看, 湾口的 $C(N)/C(P)$ 最低, 而湾底的 $C(N)/C(P)$ 最高。

$C(\text{Si})/C(\text{N})$ 的变化范围为 $0.000 \sim 0.922$, 年平均值为 0.241 ± 0.280 。其大致走势与活性硅酸盐的图形类似, 说明莱州湾海区的 TIN 含量相对比较稳定, 而活性硅酸盐含量波动较大。

2.2 桑沟湾海区主要营养盐的测定结果

桑沟湾海区3种主要营养盐的测定结果如图11~18所示。

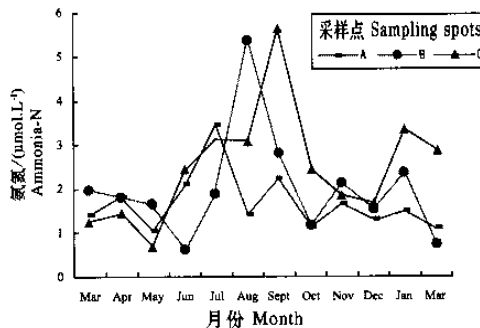


图11 桑沟湾氨氮全年实测浓度(2001.3-2002.3)
Fig. 11 Annual concentration of ammonia in Sanggou Bay
(Mar. 2001 - Mar. 2002)

$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度的变化范围 $0.585 \sim 5.630 \mu\text{mol/L}$, 年平均值为 $(2.050 \pm 1.124) \mu\text{mol/L}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度的变化范围 $0.202 \sim 38.688 \mu\text{mol/L}$, 年平均值为 $(6.841 \pm 8.048) \mu\text{mol/L}$, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度的变化范围 $0.020 \sim 2.124 \mu\text{mol/L}$, 年平均值为 $(0.499 \pm 0.534) \mu\text{mol/L}$ 。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的浓度在夏、秋季各出现 2 个峰值, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度的最高值出现在夏季。3 个采样点之间, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 测值变异不大, 而 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的浓度变异较大, 湾底和湾中部波动较大, 并且分别在水温较高的夏、秋季出现了峰值, 而湾口走势较稳。

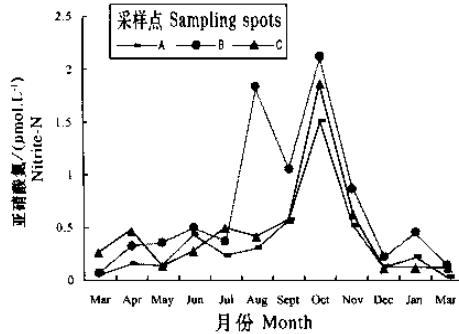


图 12 桑沟湾亚硝酸氮全年实测浓度 (2001.3 - 2002.3)
Fig. 12 Annual concentration of nitrite in Sanggou Bay (Mar. 2001 - Mar. 2002)

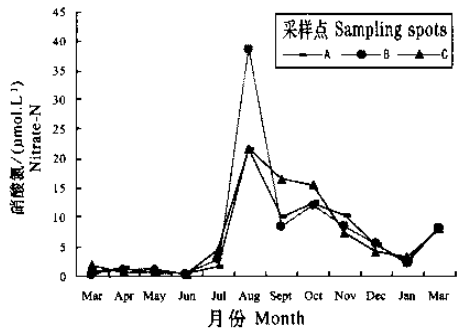


图 13 桑沟湾硝酸氮全年实测浓度 (2001.3 - 2002.3)
Fig. 13 Annual concentration of nitrate in Sanggou Bay (Mar. 2001 - Mar. 2002)

TIN 浓度变化较大, 变化范围 $1.360 \sim 45.880 \mu\text{mol/L}$, 年平均值为 $(9.390 \pm 9.019) \mu\text{mol/L}$ 。其中, 春季最低, 经过缓慢上升和夏季的突升, 在 8 月份达到最高值, 随后波动下降。TIN 与 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的浓度

变化趋势极为相似, 说明在桑沟湾水域, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 也是 TIN 的最主要贡献者。

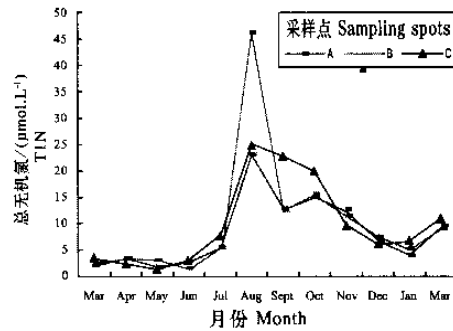


图 14 桑沟湾总无机氮全年实测浓度 (2001.3 - 2002.3)
Fig. 14 Annual concentration of TIN in Sanggou Bay (Mar. 2001 - Mar. 2002)

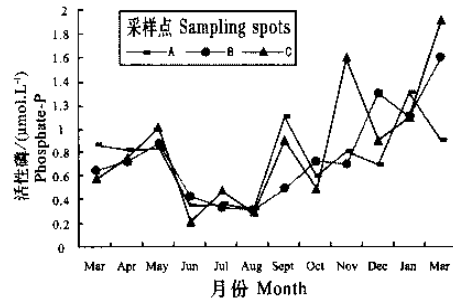


图 15 桑沟湾活性磷全年实测浓度 (2001.3 - 2002.3)
Fig. 15 Annual concentration of phosphate in Sanggou Bay (Mar. 2001 - Mar. 2002)

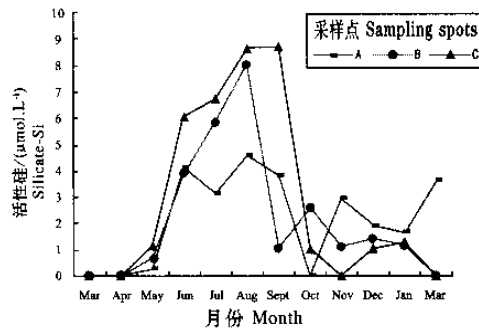


图 16 桑沟湾活性硅全年实测浓度 (2001.3 - 2002.3)
Fig. 16 Annual concentration of silicate in Sanggou Bay (Mar. 2001 - Mar. 2002)

$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 浓度冬季最高,夏季最低;在 $0.210 \sim 1.900 \mu\text{mol/L}$ 内窄幅波动,年平均值为 $(0.789 \pm 0.400) \mu\text{mol/L}$ 。

$\text{SiO}_3^{2-}-\text{Si}$ 浓度夏季最高,最低值出现在春季和秋季;变化范围 $0.000 \sim 8.683 \mu\text{mol/L}$,年平均值为 $(2.401 \pm 2.658) \mu\text{mol/L}$ 。峰值出现在 8、9 月份,最低值出现在 3、4 月。

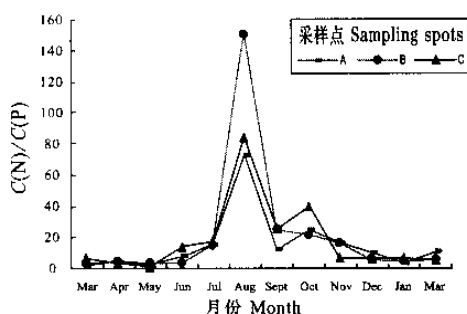


图 17. 桑沟湾全年氮磷浓度比(2001.3-2002.3)

Fig. 17 Annual ratio of $C(\text{N})/C(\text{P})$ in Sanggou Bay (Mar. 2001 - Mar. 2002)

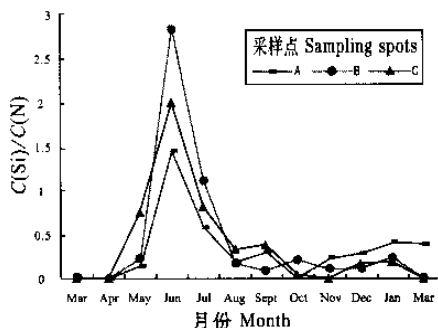


图 18 桑沟湾全年硅氮浓度比(2001.3-2002.3)

Fig. 18 Annual ratio of $C(\text{Si})/C(\text{N})$ in Sanggou Bay (Mar. 2001 - Mar. 2002)

$C(\text{N})/C(\text{P})$ 的变化范围为 $1.482 \sim 149.935$,年平均值为 18.080 ± 28.854 ,但绝大多数比值分布在 $1.482 \sim 39.92$ 。峰值出现在 8 月份,最低值出现在冬春季的 1~5 月。除夏、秋季部分月份外,比值大多小于 15,说明 N 限制的可能性稍大。

$C(\text{Si})/C(\text{N})$ 的变化范围为 $0.000 \sim 2.840$,年平均值为 0.387 ± 0.609 ,大部分时间为 0.5 以下,表明 Si 也可能是桑沟湾的主要限制性营养盐。

3 讨论

(1) 莱州湾东部海区具有沿岸水域的一般特征,即物理过程占有明显的优势,但生物和化学过程的作用也有充分的体现。前者的作用是使不同季节、不同海区的营养盐含量趋于一致^[9-12],后者则使之呈现差异。在 7~11 月的扇贝养殖季节中,大规模的扇贝筏架对水流有一定的阻滞作用,扇贝代谢过程产生的含氮废物不能及时疏散,从而使局部海水中 TIN 的含量升高。

Smith^[12]认为,N、P 的相对限制性取决于由相对水交换速率和水体内部生化过程所调节的生态系统中可获得的 $C(\text{N})/C(\text{P})$ 。从莱州湾的年平均 $C(\text{N})/C(\text{P})$ 来看,P 限制的可能性强于 N;而在总共 36 次检测中, $C(\text{N})/C(\text{P}) > 15$ 出现 17 次, $C(\text{N})/C(\text{P}) < 15$ 出现 19 次,又说明 N 可能稍有限制。因此,莱州湾水域总体看来 N、P 营养盐基本上能保持平衡。

通过 1987~1988 年和 2001~2002 年 TIN 浓度实测值(表 1)的比较可以看出,莱州湾海区中 N 和 Si 元素的含量呈下降趋势,P 元素的含量呈上升趋势,这也为 N 和 Si 限制提供了一定证据。由于 Si 结合于硅藻壳中很难再生,因此,它在水体中的再循环速率比 N 和 P 慢得多^[13]。另外,随着沿岸海水的富营养化, $C(\text{N})/C(\text{Si})$ 和 $C(\text{P})/C(\text{Si})$ 都增大了,因而 Si 更有可能成为限制性元素^[14-16]。本次实验中, $C(\text{Si})/C(\text{N})$ 全部小于 1,而且多次接近 0,这说明 Si 很可能是当前莱州湾海区主要的限制性元素。

$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 含量则波动较大(其变化范围也明显大于 20 世纪 80 年代),有超过 30% 的时间低于四类水质指标^[17]。这说明,渤海富营养化的现状有可能导致了整个水域中 P 元素含量的上升,而赤潮频发又造成了 P 含量的剧烈波动。

表 1 莱州湾 1987~1988 年和 2001~2002 年部分营养盐指标的比较

Table 1 Comparison of nutrient indexes in Laizhou Bay between 1987-1988 and 2001-2002

营养盐指标 Nutrient item	$\mu\text{mol/L}$			
	1987-1988		2001-2002	
	May	August	May	August
$C(\text{TIN})$	15.14-23.29	0.29-21.57	3.68-4.53	7.48-9.56
$C(\text{PO}_4^{3-}-\text{P})$	0.03-0.77	0.06-0.81	2.17-3.95	0.31-0.51
$C(\text{SiO}_3^{2-}-\text{Si})$	0.57-5.32	3.75-19.61	0.57-2.28	6.88-8.25

在6~12月份的扇贝养殖期间,养殖区内的 $C(N)/C(P)$ 多高于其他2个采样点,而 $C(Si)/C(N)$ 则略低于另外2点,说明养殖扇贝能使水中活性N的含量相对增加。

(2)桑沟湾的TIN含量在春季和初夏都很低,7~8月突升,随后缓慢下降。这一现象可解释为,作为桑沟湾主要的营养盐消耗者的海带,在其快速生长期对N元素水平起到有效的控制作用;而在它的收获季节(7~8月),营养盐的补充作用突现,使TIN浓度显著升高。另外,夏季水温上升很快,未收获的海带以及由于风浪等原因脱落的藻体迅速腐烂,并由于腐生细菌的参与,使营养盐大量释放出来。TIN浓度随后缓慢下降可能是由于海带的收获使海水交换增强,从而使湾内积累的营养盐得到稀释;另外,浮游植物的大量繁殖消耗了部分营养盐。

扇贝在桑沟湾这样较封闭水域中的调节作用也不容忽视。在其快速生长期,TIN和 $PO_4^{3-}-P$ 含量都明显升高,而活性Si含量则有所降低;这一规律与莱州湾有显著差异。排除物理和化学因素,这种不同于莱州湾的水质状况必然是由海带和扇贝共同作用的结果。

与1984年的调查结果相比(表2),桑沟湾海区TIN含量有大幅度上升, $PO_4^{3-}-P$ 含量稍有升高, $SiO_3^{2-}-Si$ 含量则大幅度下降。年平均 $C(N)/C(P)$ 则更为接近Redfield比值[$C(N)/C(Si)/C(P) \approx 16:16:1$]^[18]。从桑沟湾海区本年度实测值的 $C(N)/C(P)$ 来看,在总共36次实验中, $C(N)/C(P) < 15$ 共发生24次, $C(N)/C(P) > 15$ 共发生12次。可见,N有可能是本海区潜在的限制性因子。从 $C(Si)/C(N)$ 来看,在绝大多数情况下 $C(Si)/C(N) < 1$,甚至接近0,说明桑沟湾海区Si元素潜在的限制作用十分强烈。

表2 桑沟湾1984和2001~2002年部分营养盐指标的比较^[19]

Table 2 Comparison of nutrient indexes in Sanggou Bay between 1984 and 2001-2002^[19]

指标 Nutrient Index*	1984	2001~2002
$C(TIN)/(\mu mol \cdot L^{-1})$	0.94	9.39
$C(PO_4^{3-}-P)/(\mu mol \cdot L^{-1})$	0.41	0.79
$C(SiO_3^{2-}-Si)/(\mu mol \cdot L^{-1})$	4.34	2.40
$C(N)/C(P)$	2:1	18.08:1

* 年平均值 Annual averages

Jickells^[20]认为,河流输入、地下水和大气输入是海洋中N的重要来源。桑沟湾海区的营养盐限制与其气候和地理条件有密切关系。在本次实验过程中,干旱的气候使径流和地下水输入的营养盐数量有限,而海水交换所提供的营养盐就显得尤为重要。桑沟湾特有的多元养殖模式(由湾口向湾底依次排列的是海带养殖区、海带和扇贝混养区、扇贝养殖区,并且海带养殖区事实上已经发展到湾口外的大片海区),在一定程度上制约了海水交换,使湾内营养盐的补充量大大降低,从而在一定程度上制约了以浮游植物为食的养殖贝类的产量。

方建光等^[21]认为,沉积物释放是桑沟湾水体中营养盐的重要来源。底泥一方面作为营养的汇,接受贝类等次级生产者的代谢产物,另一方面又作为营养的源向水体中释放营养物质。这种汇与源作用的平衡,不仅取决于沉积物的质与量,也取决于贝类等次级生产者数量的多少,同时还受到各种生物因素(化能细菌等)、物理因素(风力造成的底泥再悬浮)和化学因素的影响。以上分析表明,底泥返还的营养盐在量上是不稳定的,而对于桑沟湾这样半封闭的水域,海水交换等其他营养盐补充形式又不足以抵消这种不稳定,例如桑沟湾的TIN浓度[年平均值为 $(9.390 \pm 9.019) \mu mol/L$]较莱州湾[年平均值为 $(8.412 \pm 3.803) \mu mol/L$]波动范围大得多。可以推测,这种较大幅度的营养盐波动,必将使浮游植物数量剧烈起伏,并通过食物链对养殖贝类造成一定的影响。这是造成目前桑沟湾内养殖贝类困境的又一层原因。

参考文献:

- [1] 王保栋. 长江冲淡水的扩展及其营养盐的输运[J]. 黄渤海海洋, 1998, 16(2): 41-47.
- [2] 王寿景, 黄白强. 台湾海峡夏季海水及某些营养盐水平通量[J]. 台湾海峡, 1998, 17(3): 275-277.
- [3] 沈志良. 胶州湾营养盐的现状和变化[J]. 海洋科学, 1997, 21(1): 60-63.
- [4] 沈志良, 陆家平, 刘兴俊, 等. 胶州湾水域的营养盐[J]. 海洋科学集刊, 1994, 35: 115-129.
- [5] 王 勇, 焦念志. 北黄海浮游植物营养盐限制的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(5): 512-518.
- [6] 赵卫红, 焦念志, 赵增霞, 等. 烟台四十里湾养殖水域营养盐的分布及动态变化[J]. 海洋科学, 2000, 24(4): 31-34.
- [7] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志(第3分册)[M]. 北京: 海洋出版社, 1991.
- [8] GB12763.1-7-91 海洋调查规范[S].

- [9] Biggs R B, Cronin L E. Special characteristics of estuaries[A]. *Estuaries and Nutrients*[C]. New Jersey: Humana Press, 1981. 3-23.
- [10] Boyle E, Collier R, Dengler A F, et al. On the chemical mass-balance of estuaries[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1974, 38: 1719-1728.
- [11] Schindler D W. Studies of eutrophication in lakes and their relevance to the estuarine environment[A]. *Estuaries and Nutrients*[C]. New Jersey: Humana Press, 1981.
- [12] Smith S V. Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment[J]. *Limnol Oceanogr*, 1984, 29(6): 1149-1160.
- [13] Le Jehan S, Treguer P. Uptake and regeneration Si/N/P ratios in the Indian sector of the Southern Ocean; Originality of the biological cycle of silicon[J]. *Polar Biology*, 1983, 2:127-136.
- [14] Conley D J, Schelske C L, Stoermer E F. Modification of the biogeochemical cycle of silica with eutrophication[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1993, 101:179-192.
- [15] Ragueneau O, De Blas V E, Treguer P, et al. Phytoplankton dynamics in relation to the biogeochemical cycle of silicon in a coastal ecosystem of western Europe[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1994, 106:157-172.
- [16] Smayda T J. Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea: evidence for a global epidemic[A]. *Toxic Marine Phytoplankton. Proceedings of the fourth International Conference on Toxic Marine Phytoplankton*[C]. New York: Elsevier Science Publishers, 1990. 29-40.
- [17] GB 3097-1997, 海水水质标准[S].
- [18] Redfield A C. On the proportions of organic derivatives in the sea water and their relation to the composition of plankton[A]. In: James Johnstone Memorial Volume[C]. Liverpool: Univ Liverpool, 1934. 176-192.
- [19] 毛兴华, 张为先, 张建中, 等. 桑沟湾增殖养殖环境综合调查研究[M]. 青岛: 青岛出版社, 1988. 8-46, 113-148.
- [20] Jickells T D. Nutrient biogeochemistry of the coastal zone[J]. *Science*, 1998, 281(5374): 217-222.
- [21] 方建光, 孙慧玲, 匡世焕, 等. 桑沟湾海带养殖容量的研究[J]. *黄海水产研究*, 1996, 17(2): 7-17.

Annual variation of major nutrients and limiting factors in Laizhou Bay and Sanggou Bay

LIU Hui¹, FANG Jian-guang¹, DONG Shuang-lin², WANG Li-chao³, LIAN Yan³

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

2. Department of Fishery Sciences, Fishery College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

3. Rongcheng Fisheries Research Institute, Shidao 264300, China)

Abstract: Songgou Bay is located in the south of the Bohai Sea. Laizhou Bay is a semi-closed bay, located in the north of the Yellow Sea. Both are typical sea areas for mariculture and the main cultured species are shellfishes and kelp. An investigation was conducted from March 2001 to March 2002 in the two bays. During the year, the concentration of TIN reached the lowest level in spring and highest level in winter; PO_4^{3-} -P concentration hit the highest point in spring and lowest point in winter; SiO_3^{2-} -Si peaked in summer and bottomed in spring and autumn. $C(\text{N})/C(\text{P})$ ranged between 1.145 and 128.61 (21.066 ± 22.712), while $C(\text{Si})/C(\text{N})$ ranged between 0.000 and 0.922 (0.241 ± 0.280), which indicated that Si is possibly the most limiting nutrient in Laizhou Bay. In Sanggou Bay, TIN concentration was the lowest in spring and highest in summer; PO_4^{3-} -P concentration is the highest in winter and lowest in summer; SiO_3^{2-} -Si concentration hit the highest point in summer and lowest point in spring and autumn. $C(\text{N})/C(\text{P})$ ranged between 1.482 and 149.935 (18.080 ± 28.854); but the value is mostly less than 15 except during a few months in summer and autumn, which indicated a higher possibility of N limitation. $C(\text{Si})/C(\text{N})$ ranged between 0.000 and 2.840 (0.387 ± 0.609) annually, but the value is under 0.5 most of the time, which indicated a severe limitation of Si in Sanggou Bay. The significant difference of water quality indicators among the sampling stations in both bays may reveal the long-term effects of mariculture on environment.

Key words: Laizhou Bay; Songgou Bay; nutrient salt; limiting factor