

刺参养殖池塘营养盐周年变化的初步研究

张丽霞¹, 蔡 勋², 刘双凤², 杨大佐², 周一兵²

(1. 大连海洋大学, 辽宁省海洋生物资源恢复及生境修复重点实验室, 辽宁 大连 116023;

2. 大连海洋大学, 农业部北方海水增养殖重点实验室, 辽宁 大连 116023)

摘要: 2009年10月至2010年10月, 对辽宁省大连市庄河地区3口刺参(*Stichopus japonicus*)养殖池塘的氮(N)、磷(P)、硅(Si)营养盐进行了初步调查。结果表明, 3口池塘全年平均总溶解无机氮(DIN)浓度为17.36 $\mu\text{mol/L}$, 硝酸盐(NO_3^- -N)与DIN的变化趋势基本一致, 年均值为12.61 $\mu\text{mol/L}$, 亚硝酸盐(NO_2^- -N)年均值为1.61 $\mu\text{mol/L}$, 氨氮(NH_4^+ -N)年均值为3.14 $\mu\text{mol/L}$, 磷酸盐(PO_4^{3-} -P)与硅酸盐(SiO_3^{2-} -Si)年均值分别为0.40 $\mu\text{mol/L}$ 和19.76 $\mu\text{mol/L}$ 。氮磷比(N/P)年均值为61.41, 其中冬季和春季明显高于其它季节。硅氮比(Si/N)年均值为2.08, 冬季和春季均小于1, 其他季节均大于1; 硅磷比(Si/P)年均值为50.12。3口刺参池塘各项指标差异不大, 变化趋势基本一致。

关键词: 刺参; 池塘; 营养盐; 周年变化

中图分类号: Q142 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2013)01-0037-07

刺参(*Stichopus japonicus*)属于棘皮动物门、刺参纲、楯手目、刺参科, 自然分布于我国北方、日本、朝鲜半岛以及俄罗斯远东地区。近年来, 刺参已成为我国北方地区重要的海水养殖品种, 并已形成较大的生产规模。据农业部渔业局统计, 2010年刺参总产量约75 700 t, 养殖总面积达84 200 hm^2 。池塘养殖海参模式由于成本投入相对较低以及便于管理等优点, 近些年来在北方地区快速发展, 为海洋水产业的发展作出了重要贡献(常亚青, 2006)。

营养盐是养殖池塘藻类生长和繁殖过程不可缺少的基础物质, 而浮游藻类的死亡和沉降是海参主要食物来源之一, 营养盐可促进或限制海水养殖生态系统中的能量转化(于金海等, 2009), 同时也可作为衡量海水养殖自身污染的重要指标; 因此, 了解和掌握营养盐的变动规律不仅对海参池塘养殖具有重要的意义, 也是掌握海水养殖生态系统中物质循环的重要环节(姜北, 2010)。然而, 关于刺参养殖池塘营养盐的周年变化规律尚未见报道。本文调查了黄海北部刺参养殖池塘内营养盐的周年变化, 进

行了限制性营养盐的初步分析, 以期对刺参池塘养殖生态学 and 实际生产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 养殖环境

本试验采集的所有水样均来自黄海北部大连庄河地区的某海珍品养殖有限公司3、4和9号刺参养殖池塘。3号和4号池塘面积约为2.67 hm^2 , 9号池塘面积约为3.0 hm^2 , 池塘北面均各有2个进水闸门, 南面各有2个排水闸门; 均采用轮捕轮放的投苗养殖方式。秋季投放小苗(0.22 ± 0.12) g/只, 年均密度为 $6 \times 10^4 \sim 8 \times 10^4$ 只/ hm^2 ; 春季投放2.0~5.0 g/只的大苗, 年均密度为 $0.4 \times 10^4 \sim 1.5 \times 10^4$ 只/ hm^2 ; 秋季采捕规格为100 g以上的成参, 年采捕量为842.7~1 872.0 kg/ hm^2 ; 池塘全年水位为1.50~2.10 m, 池塘每次活汛(间隔约为15 m)都可保证换水4~5 m, 且换水量约为池塘总水体的1/2。池塘所放参礁材料为空心砖和石头, 参礁高度约为0.6 m。

1.2 水样采集

每次采样之前, 根据监测项目需要选用合适的采水器械并将其清洗干净。采样时为避免船对水体的扰动, 到达采样点时要待船体完全停稳后再进行采集。样品采集周期为15~20 d, 水样采集点为刺参养殖池塘中心以及四角共5个点, 每个点按表(0.2~0.4 m)、中(0.8~1.0 m)、底(1.5~1.8 m)层采混合样。采水装置为2.0 L采水器。采水时先

收稿日期: 2012-12-28

基金项目: 国家自然科学基金(30901107); 国家海洋公益性行业科研专项经费(200805069); 科技部农业科技成果转化资金项目(2009GB2B000063); 科技部“863”项目(2006AA10Z410)。

通讯作者: 周一兵, 男, 教授, 主要从事海洋生物学研究。
E-mail: ybzhou@dlou.edu.cn

作者简介: 张丽霞, 1988年生, 女, 硕士研究生, 研究方向为水生生物学。E-mail: 287225494@qq.com

用少量水样淌洗水样瓶2次(水样瓶为双层盖、高密度的1L聚乙烯瓶),然后迅速将水样装满瓶,盖紧后带回实验室立即进行营养盐的测定。测定前要先将水样用处理过的0.45 μm的微孔滤膜过滤,然后再进行NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、PO₄³⁻-P和SiO₃²⁻-Si的测定,若不能立即测定水样则需要将其保存,加入占试样体积0.2%的三氯甲烷,盖好瓶塞,剧烈摇荡约1min,放入冰箱或冰桶内于4~6℃低温保存,水样允许保存24h。

1.3 测定方法

本试验中各种营养盐的测定过程均按照《国家海洋调查规范》(GB)进行操作;其中,NH₄⁺-N采用次溴酸盐氧化法,NO₂⁻-N采用萘乙二胺分光光度法,NO₃⁻-N采用镉柱还原法,PO₄³⁻-P采用磷钼蓝分光光度法;SiO₃²⁻-Si采用硅钼蓝法;初级生产力采用黑白瓶测氧法。

1.4 数据处理

采用Excel和Spss软件对数据进行分析,并运用Visual Basic程序对数据进行多元逐步回归分析。

2 结果

2.1 池塘无机氮的存在形态及年度变化

刺参养殖池塘无机氮以NO₃⁻-N、NH₄⁺-N和NO₂⁻-N存在。3种氮平均含量占DIN比例的年变化见图1;DIN成分中以NO₃⁻-N为主,其占DIN比例的年均值为(64.10 ± 24.47)%,且明显高于NH₄⁺-N和NO₂⁻-N占DIN的比例,年均值分别为(23.69 ± 17.33)%和(12.22 ± 10.75)%。NH₄⁺-N含量在DIN中占较大比例的情况仅出现在秋季(10、11月)和夏季(6月),其比值分别为70.31%、42.86%和54.52%。NO₂⁻-N占DIN比例的变化幅度最小,范围为0.67%~35.75%,分别出现在冬季(12月)和秋季(10月)。

2.2 池塘限制性营养盐

根据上述试验数据,分别将刺参养殖池塘的NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、PO₄³⁻-P、SiO₃²⁻-Si与池塘初级生产力(PP)做单因素回归分析,根据差异性显著因子P<0.05进行取舍,NH₄⁺-N、NO₂⁻-N与水体初级生产力之间呈显著正相关,得方程如下:

$$PP = 0.0454NH_4^+ - N + 3.0089$$

$$(n = 19, r = 0.4827, P < 0.05)$$

$$PP = 0.0635NO_2^- - N + 3.8316$$

$$(n = 19, r = 0.4986, P < 0.05)$$

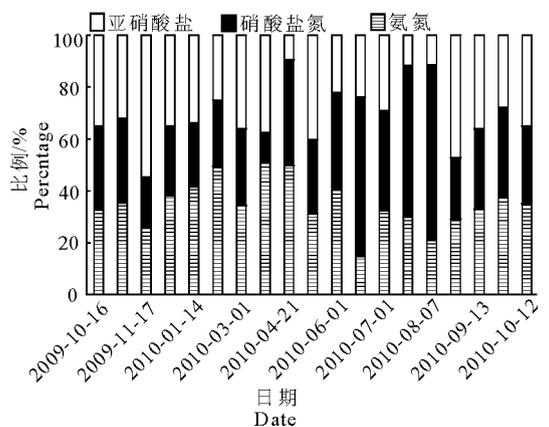


图1 池塘水体 DIN 存在形态的周年变化

Fig.1 Existence style of DIN and its annual variation in the pond

为了筛选出影响初级生产力的限制因子,将所有营养盐和初级生产力进行多元逐步回归,由于在逐步回归中单个因子的作用变小,为了保留较多因子,采用较低的显著性水平($P < 0.10$),得出如下方程:

$$PP = 3.6151 + 0.1340NH_4^+ - N \cdot NO_2^- - N + 0.0166NH_4^+ - N \cdot NO_3^- - N$$

$$(n = 19, r = 0.6459, P < 0.10)$$

由多元回归分析的结果可知,池塘初级生产力受到NH₄⁺-N与NO₃⁻-N、NH₄⁺-N与NO₂⁻-N交互作用的影响,且后者交互作用对初级生产力的影响要大于前者;此外,将(N/P)、(Si/N)、(Si/P)与浮游植物生物量(B)之间做逐步回归计算分析得到如下方程:

$$B = 28.13 - 0.0011 \times (N/P)^2$$

$$(n = 19, r = -0.7291, P < 0.01)$$

由上式可见,N/P比与浮游植物生物量(B)呈极显著负相关($P < 0.01$)。

2.3 池塘营养盐的周年变化

3、4、9号刺参养殖池塘N、P、Si营养盐的周年(2009.10-2010.10)变化趋势如图2所示。

2.3.1 总溶解无机氮(DIN) 3口池塘DIN年均均为(17.36 ± 9.73) μmol/L,变化范围为[(4.17 ± 1.97) ~ (34.49 ± 3.42)] μmol/L(图2-A)。总体来看,DIN浓度在冬季和春季较高,夏季和秋季较低,其中6月最低,随后略有上升,到7月后便开始下降,直到11月开始迅速回升,至1月达到最高值。3口池塘DIN浓度变化趋势基本一致,3号池塘年均DIN最高(18.01 ± 11.42) μmol/L,且变化幅度最大,4号和9号年均DIN浓度分别为(17.49 ± 9.54) μmol/L和(16.59 ± 9.83) μmol/L。

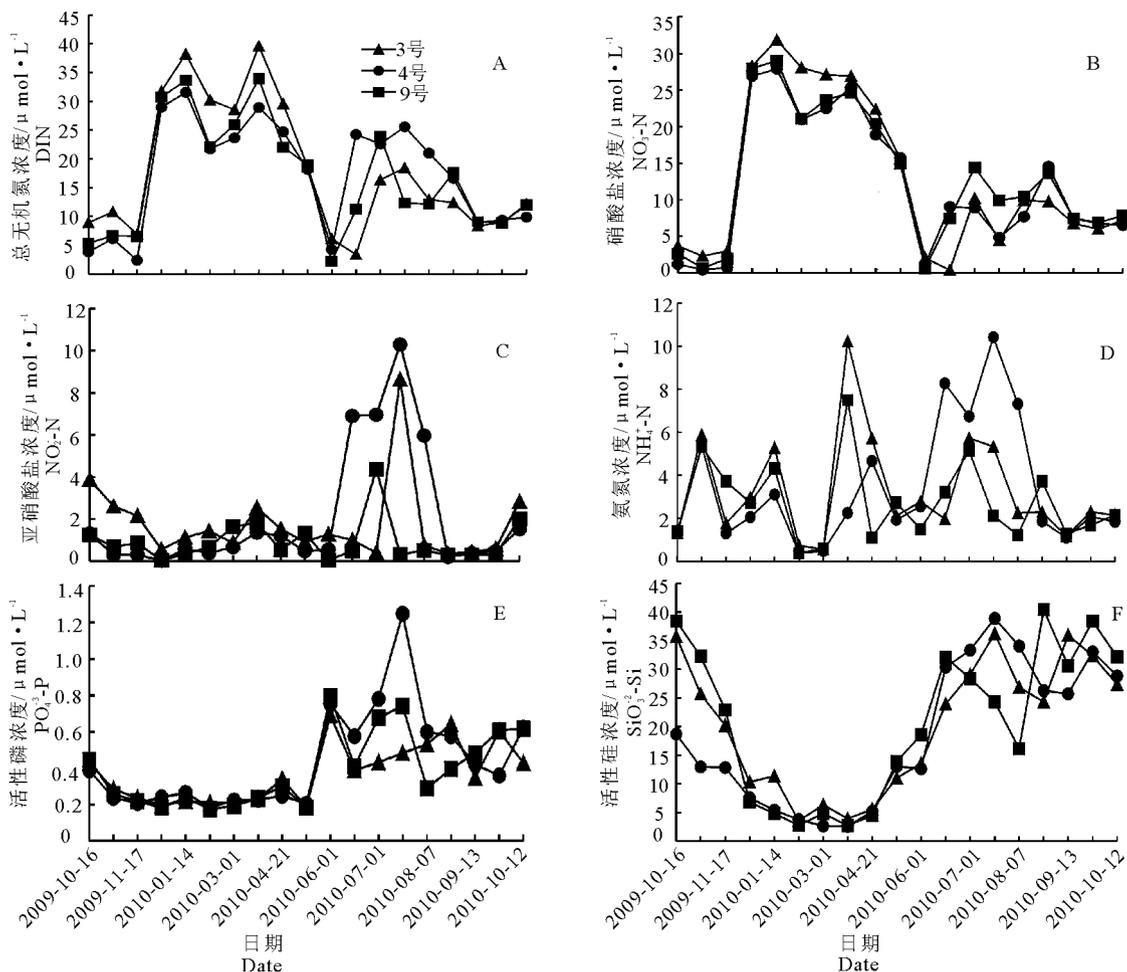


图2 刺参养殖池塘营养盐的周年变化

Fig. 2 Annual variation of nutrients in the three ponds

2.3.2 硝酸盐 (NO_3^- -N) 水体的 NO_3^- -N 浓度与 DIN 浓度变化趋势基本一致,说明在刺参养殖池塘中, NO_3^- -N 是构成 DIN 的主要成分,其年均值为 $(12.61 \pm 9.67) \mu\text{mol/L}$ 。 NO_3^- -N 浓度在冬季和春季较高,夏季和秋季较低,其中最低值出现在 10 月 $[(1.13 \pm 1.03) \mu\text{mol/L}]$,以后迅速上升,1 月达到最高值 $[(29.57 \pm 2.04) \mu\text{mol/L}]$,然后一直下降到 6 月。3 口池塘 NO_3^- -N 浓度变化趋势基本一致,其中 3 号和 9 号池塘年均值相近,分别为 $(12.93 \pm 10.81) \mu\text{mol/L}$ 和 $(12.93 \pm 9.67) \mu\text{mol/L}$,高于 4 号池塘的 $(11.97 \pm 9.34) \mu\text{mol/L}$ (图 2-B)。

2.3.3 亚硝酸盐 (NO_2^- -N) NO_2^- -N 年均值为 $(1.61 \pm 1.52) \mu\text{mol/L}$,其浓度在夏季形成了一个明显的单峰,7 月达到最高值 $(6.42 \pm 5.34) \mu\text{mol/L}$,然后便迅速下降;其余季节 NO_2^- -N 浓度较低且波动幅度不大,最低值出现在 12 月 $[(0.20 \pm 0.30) \mu\text{mol/L}]$ 。3 口池塘间的 NO_2^- -N 变异不大,9 号池塘年均值为 $(0.94 \pm 1.02) \mu\text{mol/L}$,3 号和 4 号池塘分别为 $(1.79 \pm 1.92) \mu\text{mol/L}$ 和

$(2.10 \pm 3.01) \mu\text{mol/L}$ (图 2-C)。

2.3.4 氨氮 (NH_4^+ -N) 池塘 NH_4^+ -N 变化见图 2-D,其年均值为 $(3.14 \pm 1.87) \mu\text{mol/L}$ 。总体来看, NH_4^+ -N 在春季、夏季、秋季和冬季各有高值和低值,在每个季节内都有“升高-降低”的变化过程,但春季和夏季的高值 $[(6.65 \pm 4.05) \mu\text{mol/L}$ 和 $(5.95 \pm 4.18) \mu\text{mol/L}]$ 要高于秋季和冬季 $[(5.52 \pm 0.31) \mu\text{mol/L}$ 和 $(4.23 \pm 1.09) \mu\text{mol/L}]$ 。3 口池塘之间,4 号池塘的 NH_4^+ -N 年均值最大 $[(3.42 \pm 2.88) \mu\text{mol/L}]$,而且全年变化幅度也是最大;3 号和 9 号池塘 NH_4^+ -N 年均值分别为 $(3.29 \pm 2.44) \mu\text{mol/L}$ 和 $(2.72 \pm 1.86) \mu\text{mol/L}$ 。

2.3.5 磷酸盐 (PO_4^{3-} -P) 3 口池塘 PO_4^{3-} -P 年均值为 $(0.40 \pm 0.20) \mu\text{mol/L}$ 。全年中夏季 PO_4^{3-} -P 浓度最高,最高值出现在 7 月,为 $(0.82 \pm 0.39) \mu\text{mol/L}$;其余季节均较低,最低值出现在 2 月,为 $(0.19 \pm 0.02) \mu\text{mol/L}$ 。3 口池塘之间,除秋季各自 PO_4^{3-} -P 浓度变化有差异外,其余季节变化基本一致。3、4 和 9 号池塘年均值分别为 $(0.37 \pm 0.16) \mu\text{mol/L}$ 、

(0.44 ± 0.28) $\mu\text{mol/L}$ 和 (0.39 ± 0.21) $\mu\text{mol/L}$ (图 2-E)。

2.3.6 硅酸盐 ($\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$) $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$ 的变化趋势见图 2-F, 其均值为 (19.76 ± 11.67) $\mu\text{mol/L}$ 。从全年变化趋势来看, 夏季和秋季 $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$ 浓度明显高于春季和冬季, 最高值出现在 9 月, 为 (34.59 ± 3.30) $\mu\text{mol/L}$; 在整个秋季 $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$ 浓度虽有波动, 但变化幅度不大。11 月, $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$ 浓度开始迅速下降, 整个冬季都处于较低水平, 3 月出现最低值 (3.09 ± 0.74) $\mu\text{mol/L}$, 之后在春季开始显著上升。3 口池塘相比较, 9 号池塘 $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$ 年均值最高, 为 (20.80 ± 13.46) $\mu\text{mol/L}$, 而且全年变化幅度也是最大; 3 号和 4 号池塘年均值分别为 (20.18 ± 11.51) $\mu\text{mol/L}$ 和 (18.31 ± 12.39) $\mu\text{mol/L}$ 。

2.4 池塘水体营养盐比值的周年变化

刺参养殖池塘水体中氮磷比 (N/P)、硅氮比 (Si/N) 和硅磷比 (Si/P) 的周年 (2009.10 - 2010.10) 变化如图 3。

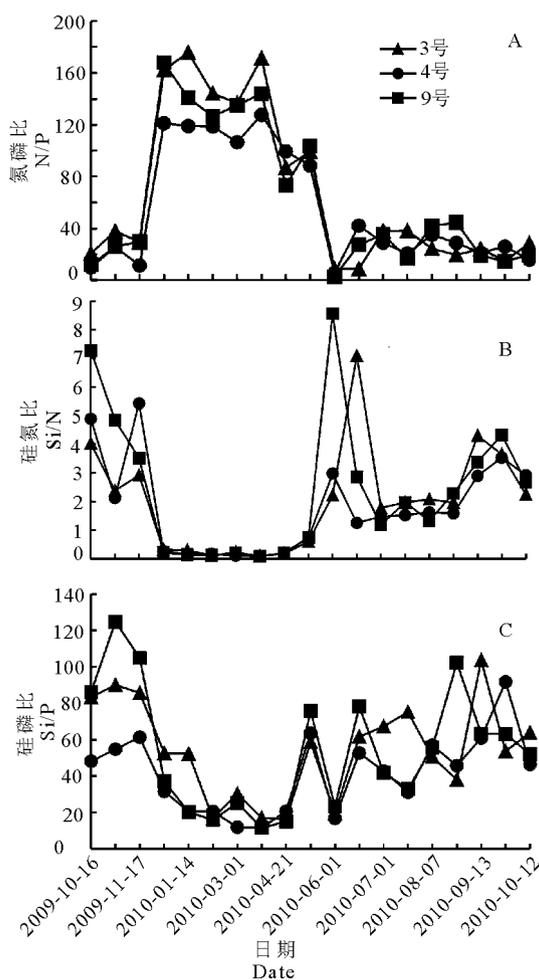


图3 刺参养殖池塘营养盐比例的周年变化
Fig.3 Annual variation of nutrients ratio in the three ponds

2.4.1 氮磷比 各池塘氮磷比 (N/P) 的年均值为 (61.41 ± 53.22), 变化范围为 (5.74 ± 3.06) ~ (150.41 ± 25.53)。氮磷比在冬季和春季 (2009 年 12 月 - 2010 年 5 月) 明显高于其它季节, 变化范围为 (86.52 ± 13.08) ~ (150.41 ± 25.53); 夏季和秋季氮磷比明显低于冬季和春季, 且波动幅度不大, 变化范围为 (5.74 ± 3.06) ~ (34.09 ± 4.61)。3 口池塘相比, 其 N/P 的变化趋势基本一致, 3、4 和 9 号池塘的年均值分别为 (66.78 ± 61.04)、(55.36 ± 45.59) 和 (62.10 ± 55.02) (图 3-A)。

2.4.2 硅氮比 硅氮比 (Si/N) 的变化趋势见图 3 - B, 其年均值为 (2.08 ± 1.74), 极值为 (0.09 ± 0.01) 和 (5.39 ± 1.68)。由 $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$ 和 DIN 年变化趋势 (图 2-A) 可见, 在冬季和春季 (2009 年 12 月 - 2010 年 5 月), $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$ 均处于较低水平时, DIN 处于较高水平。所以在整个冬季和春季内, 硅氮比均小于 1, 变化范围为 (0.09 ± 0.01) ~ (0.68 ± 0.08); 在其他季节内, 硅氮比则均大于 1, 变化范围为 (1.48 ± 0.29) ~ (5.39 ± 1.68)。3 口池塘间相比较, 硅氮比的变化趋势基本一致。3、4 和 9 号池塘硅氮比的年均值分别为 (2.02 ± 1.83)、(1.79 ± 1.62) 和 (2.42 ± 2.47)。

2.4.3 硅磷比 硅磷比 (Si/P) 年均值为 (50.12 ± 24.19), 变化范围为 (13.35 ± 3.17) ~ (89.93 ± 35.03)。其年变化趋势 (图 3-C) 与 $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$ (图 2-F) 相似, 表明 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 在全年内相对比较稳定, 而 $\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$ 则波动较大。3 口池塘相比较, 其硅磷比的变化趋势基本一致, 3、4 和 9 号池塘的年均值分别为 (54.58 ± 26.50)、(41.58 ± 21.51) 和 (54.20 ± 33.98)。

3 讨论

3.1 刺参养殖池塘总溶解无机氮的变化特征

3.1.1 三氮占 DIN 比例的变化 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 是构成海水中总溶解无机氮 (DIN) 的 3 个组成部分 (姚云和沈志良, 2006), 刺参养殖池塘无机氮的组成与此规律一致。本试验中, 3 口刺参养殖池塘中, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 占 DIN 比例在大部分时间都处于绝对优势, 除了夏季 (6 - 7 月) 和秋季 (10 - 11 月) 部分时间外, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 全年大部分时间占 DIN 的比例都要高于 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$; 这主要是由于氨氮为水体中有机氮分解的第一无机产物, 生物活动对 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量有着直接的影响 (王小谷和胡锡钢, 2004)。在水中溶氧充足的条件下, 氨会在各种亚

硝化细菌的作用下氧化成 NO_2^- -N, 然后 NO_2^- -N 在硝化细菌作用下进一步氧化成 NO_3^- -N; NO_2^- -N 作为硝化作用的中间产物, 是极不稳定的, 很难在 DIN 中占有较大比例; 而 NO_3^- -N 作为硝化作用的最终产物, 在养殖水域中比较容易积累, 使得其在大部分时间成为 DIN 的主要存在形态 (姚云和沈志良, 2007); 同时, NO_3^- -N 水平较高亦说明水体中硝化作用占有优势, 相关研究也与本试验的结果相似。 NO_3^- -N 在 7 月占 DIN 比例很小, 而 NH_4^+ -N 和 NO_2^- -N 占较大的比例, 其原因可能是 7 月的海水温度最高, 各种海洋生物代谢旺盛所致 (李兰生和林洪, 1999); 这与曲克明等 (2000) 调查鳌山湾时所得的结果相似。

3.1.2 常被忽视的 NO_2^- -N 致毒效应 本次试验中, NO_2^- -N 全年所占 DIN 比例的变化幅度是最小的, 在 0.67% ~ 35.75%, 但对于水产养殖来说, NO_2^- -N 同样不应该被忽视, 因为在养殖水体中 NO_2^- -N 同样是具有致毒效应的。通常人们认为 NH_4^+ -N 对养殖生物的致毒效应比较显著, 所以经常将其列为养殖水环境质量监测的主要项目而忽略 NO_2^- -N 的致毒作用, 原因主要有两方面: 一是 NO_2^- -N 属不稳定过渡态, 不可能在水环境中大量存在; 二是我国目前常采用《海洋调查规范》的次溴酸钠氧化测定养殖水环境中的 NH_4^+ -N, 而该方法中, NH_4^+ -N 是通过与 NO_2^- -N 的综合测定, 然后计算与 NO_2^- -N 单独测定之差值得出来的, 所以在测定中常因误认为水环境中 NO_2^- -N 含量一般较低, 而省略对其的测定, 将 NH_4^+ -N 与 NO_2^- -N 的综合测定值均归为 NH_4^+ -N 测定值 (张继红, 2009)。然而本研究结果显示, 在整个养殖周期中的高温季节 (7 月), NO_2^- -N 占 DIN 的比例有所升高 (18.66% ~ 34.19%), 并在 2010 年 7 月 29 日达到其浓度的最高值 $6.42 \mu\text{mol/L}$; 因此, 对于刺参养殖池塘来讲, NO_2^- -N 浓度的高低对养殖生态系统作用同样是不可忽视的。

3.2 刺参养殖池塘限制性营养盐

3.2.1 浮游植物生长的最低阈值 通过对营养盐动力学吸收的研究, 有学者认为浮游植物生长所需环境溶解营养盐原子比大致为 $\text{Si/N/P} = 16/16/1$ (Goldman et al, 1979)。在此基础上, Justic 等 (1995) 和 Dortch & Whitedge (1992) 提出了系统评估每种营养盐化学计量限制的标准: (1) 若 $\text{Si/P} > 22$ 和 $\text{DIN/P} > 22$, 则磷酸盐为限制因素; (2) 若

$\text{DIN/P} < 10$ 和 $\text{Si/DIN} > 1$, 则溶解无机氮为限制因素; (3) 若 $\text{Si/P} < 10$ 和 $\text{Si/DIN} < 1$, 则溶解无机硅为限制因素; 其中, 每种营养盐的化学计量限制因素成立, 不一定实际的限制因素就成立, 可能的限制因素只有通过比较环境营养盐的浓度和可能限制营养盐吸收的浓度之后才能确定。基于对营养盐吸收动力学研究, $\text{Si} = 2 \mu\text{mol/L}$, $\text{DIN} = 1 \mu\text{mol/L}$, $\text{P} = 0.1 \mu\text{mol/L}$ 可作为浮游植物生长的最低阈值。

刺参养殖池塘周年监测中发现, SiO_3^{2-} -Si、DIN 和 PO_4^{3-} -P 的浓度始终高于各自作为浮游植物生长的最低阈值, 即全年中 3 种营养盐均可满足浮游植物生长所需, 所以从环境营养盐浓度与可能限制营养盐吸收浓度方面考虑, N、P 和 Si 都不会成为刺参养殖池塘浮游植物生长的限制性因子。因此, 可通过 Justic 等 (1995) 和 Dortch & Whitedge (1992) 提出的营养盐化学计量限制系统评估标准来确定某种营养盐成为浮游植物生长限制因子的评估标准。

3.2.2 限制性营养盐 PO_4^{3-} -P 分析表明, PO_4^{3-} -P 为限制性营养盐主要集中在两个时间段内, 分别是夏季 (2010 年 6 - 8 月) 和秋末冬初 (2009 年 10 月 31 日 - 2010 年 1 月 14 日), 此期间各营养元素比值满足 $\text{Si/P} > 22$ 和 $\text{DIN/P} > 22$, 所以 PO_4^{3-} -P 是刺参养殖池塘水体中浮游植物生长的限制性因子, 而 SiO_3^{2-} -Si 和 DIN 不会成为浮游植物生长的限制性因子; 同时满足 $\text{DIN/P} < 10$ 和 $\text{Si/DIN} > 1$ 即 DIN 为限制性营养盐的仅出现在 2010 年 6 月 1 日, 说明 DIN 在全年内几乎不会成为池塘水体的限制性因子; 在调查期间没有出现 $\text{Si/P} < 10$ 和 $\text{Si/DIN} < 1$ 的情况, 说明全年中 PO_4^{3-} -P 不会成为刺参养殖池塘水体中浮游植物生长的限制性因子, 这主要是由于刺参养殖池塘均在近岸, 陆源硅可进入近岸海水中, 是海水中硅的主要输入部分; 但在整个冬季和春季 (2009 年 12 月 20 日 - 2010 年 5 月 17 日) 均出现了 $\text{Si/DIN} < 1$ 的情况, 虽然未出现 $\text{Si/P} < 10$, 但 PO_4^{3-} -P 为限制性营养盐, 含量较低, SiO_3^{2-} -Si 也有可能具有较低含量。这说明在此期间 SiO_3^{2-} -Si 虽然没有作为限制性因子出现, 但是其含量相对贫乏; 这可能由于冬季和春季的陆源硅与近海海水交换较少, 温度较低有关。

刺参养殖池塘限制性营养盐的这一特点与近年来我国沿海营养盐变化的趋势一致。于志刚等 (2000) 研究发现, 近 20 年来, 渤海中部营养盐的浓度和结构均发生了显著变化, 表现为 NO_3^- -N、 NO_2^- -N、DIN 持续增加, 活性磷和硅显著降低, N/P

值升高, Si/N 值下降; 郑炳辉等(2007)发现, 受渤海湾天津近岸海域无机氮含量持续增长的影响, 1985-2003年, 天津近岸海域氮磷营养盐结构发生了很大变化, 从1985年的N限制状态转变为P限制状态, 对这一海域浮游植物群落结构的变化造成了重要影响; 大亚湾近20年来由贫营养状态发展到中营养状态, 局部海域已出现富营养化的趋势, N/P的平均值由20世纪80年代的1.5上升到近年的大于50, 营养盐限制因子由N限制过渡到目前的P限制(彭云辉等, 2002), 其主要原因是随着我国沿海经济的快速发展, 工农业废水等陆源污染物的大量排放, N输入的增加要高于P, 导致许多近海区域N/P失衡, 浮游植物生长的限制性营养盐发生了改变。

3.3 养殖池塘的营养盐变动与人工调控

黄海南部呈典型四季分明的气候特征, 池塘养殖刺参每周年经历2个快速生长期(春、秋季)、1个越冬期(冬季)和夏眠期(夏季), 由于池塘养殖不投饵, 因此生产中常有养参即养水的说法; 这主要是因为刺参生长、存活与养殖水环境息息相关, 养殖池塘水环境营养盐状况的变动规律与浮游植物数量和演替、池塘的初级生产之间具有重要的交互影响。统计学分析显示, 北方地区刺参养殖池塘DIN的组成和含量与池塘初级生产力之间存在显著相关, 而磷是浮游植物生物量的限制因子。基于此分析, 养殖管理中, 刺参快速生长季节(春、秋)可以通过不同比例施肥, 改变池塘水环境中N/P浓度比, 降低磷对浮游植物繁殖和生长的限制, 促进生物量增加, 为养殖刺参提供丰富的饵料(孙晓霞, 2011)。

参考文献

常亚青, 隋锡林, 李俊. 2006. 刺参增养殖业现状、存在问题与展望[J]. 水产科学, 25(4): 198-201.

姜北, 薛克, 周遵春, 等. 2010. 大连地区仿刺养殖池塘叶绿素a分布和初级生产力估算[J]. 水产科学, 29(5): 255-259.

李兰生, 林洪. 1999. 虾池生态系的氮平衡及氨水平的生物调控-虾池中三氮的动态趋势[J]. 海洋与湖沼通报, (4): 53-57.

彭云辉, 孙丽华, 陈浩如, 等. 2002. 大亚湾海区营养盐的变化及富营养化研究[J]. 海洋通报, (3): 13-17.

曲克明, 幸福言, 崔毅, 等. 2000. 鳌山湾氮、磷营养盐的分布及营养状况[J]. 海洋水产研究, 21(3): 1-5.

孙晓霞, 孙松, 赵增霞, 等. 2011. 胶州湾营养盐浓度与结构的长期变化[J]. 海洋与湖沼, 42(5): 662-669.

王小谷, 胡锡钢. 2004. 杭州湾淡化对虾养殖池中氮磷营养盐的存在特征[J]. 东海海洋, 22(3): 56-61.

姚云, 沈志良. 2006. 胶州湾营养盐及其结构特征[J]. 海洋与湖沼, 37(增): 339-347.

姚云, 沈志良. 2007. 胶州湾东北部营养盐的季节和多年变化[J]. 水科学进展, 18(3): 379-384.

于金海, 冷晓飞, 李春艳, 等. 2009. 黄海南部仿刺参养殖池塘关键环境因子的周年变化与管理研究[J]. 大连水产学院学报, 24(6): 514-519.

于志刚, 米铁柱, 谢保东, 等. 2000. 二十年来渤海生态环境参数的演化与相互关系[J]. 海洋环境科学, 19(1): 15-19.

张继红, 王巍, 蒋增杰, 等. 2009. 獐子岛养殖海域氮、磷的分布特征[J]. 渔业科学进展, 30(6): 88-96.

郑炳辉, 秦延文, 孟伟, 等. 2007. 1985-2003年渤海湾水质氮磷生源要素的历史演变趋势分析[J]. 环境科学, 28(3): 494-499.

Dortch Q, Whittedge T. 1992. Does nitrogen or silicon limit phytoplankton production in the Mississippi River plume and nearby regions [J]. Continental Shelf Res, 12: 1293-1309.

Goldman J C, McCarthy J J, Pervy D G. 1979. Growth rate influence on the chemical composition of phytoplankton in oceanic water[J]. Nature, 279: 210-215.

Justic D, Rabalais N, Turner R, et al. 1995. Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters: stoichiometric nutrient balance and its consequences [J]. Estuarine, Coast Shelf Sci, 40: 339-356.

(责任编辑 万月华)

Preliminary Study on the Annual Variation of Nutrients in *Stichopus japonicus* Aquaculture Pond

ZHANG Li-xia¹, CAI Xun², LIU Shuang-feng², YANG Da-zuo², ZHOU Yi-bing²

(1. Key Laboratory of Marine Bio-resources Restoration and Habitat Reparation in Liaoning Province, Dalian Ocean University, Dalian 116023, P. R. China;

2. Key Laboratory of North Mariculture, Ministry of Agriculture, Dalian Ocean University, Dalian 116023, P. R. China)

Abstract: The nutrients (N, P, Si) of *Stichopus japonicus* pond were investigated from Oct. 2009 to Oct. 2010 in Zhuanghe Liaoning Province. The results showed that the average concentration of DIN in the three ponds was 17.36 $\mu\text{mol/L}$; The change of nitrate nitrogen was the same as DIN while the mean value was 12.61 $\mu\text{mol/L}$; The average nitrite nitrogen was 1.61 $\mu\text{mol/L}$; The average ammonia-nitrogen was 3.14 $\mu\text{mol/L}$; The mean values of phosphate and silicate were 0.40 $\mu\text{mol/L}$, 19.76 $\mu\text{mol/L}$, respectively. The average (N/P) was 61.41, the data of winter and spring was higher than the other seasons; The average (Si/N) was 2.08, the (Si/N) of winter and spring was less than 1, while more than 1 in the other seasons; The average (Si/P) was 50.12. The change of data were consistent in the three ponds.

Key words: *Stichopus japonicus*; pond; nutrient; annual variation