

黄河三角洲海参养殖池塘微型浮游 植物多样性研究*

王育红 杨建敏^① 张明亮 宋向军 王卫军 孙国华 韦秀梅

(山东省海洋水产研究所 山东省海洋生态修复重点实验室 烟台 264006)

提要 采用相关性分析方法研究了温度、盐度、营养盐等环境因子对黄河三角洲海参养殖池塘微型浮游植物多样性的影响。结果表明,群落多样性指数 H' 值主要受营养盐特别是 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 限制,温度、盐度对 H' 值影响不显著。丰富度指数 d 值受营养盐影响不显著。温度、盐度是 d 值的主要影响因素,在温度 15—30℃、盐度 22—32 范围之内, d 值随温度、盐度升高而降低。均匀度指数 J 值受营养盐影响不显著,但受温度、盐度影响作用较为明显,在温度 15—30℃、盐度 22—32 范围之内, J 值随着温度、盐度升高而升高。由于池塘内温度、盐度、营养盐波动较大,浮游植物群落并不稳定,多样性一直处于受干扰状态。

关键词 黄河三角洲; 海参养殖池塘; 微型浮游植物; 多样性指数; 相关性
中图分类号 Q958.1

开发滩涂资源,建设人工池塘,开展海参生态养殖已成为黄河三角洲的一项新兴产业。目前黄河三角洲地区已开发海参池塘面积超过了 1.5 万 ha,极大带动了当地经济增长。微型浮游植物为池塘生态系统提供了系统动力,对维系生态系统运行起着重要作用 (Caraco *et al.*, 1987; 赵文等, 2003a; 栾青杉等, 2007)。微型浮游藻类群落变动不仅与养殖环境相关,还与养殖生物的生长有着密切关系 (Boyd, 1990; Goldman, 1969)。研究池塘微型浮游植物群落动态特征,将有助于提升对池塘生态系统结构和功能的认识,从而能够更加有效地进行养殖池塘水质调控。

生物多样性是反映群落动态特征的重要指标,它不仅与生态系统稳定性密切相关,还能够反映群落物种在种间和种内的数量分配量度,常常应用于分析浮游植物群落的安定程度和波动大小 (章守宇等, 2001; 邓建明等, 2010)。研究浮游植物多样性变动及其与环境变化关系,具有重要的理论和实际应用价值 (孙军等, 2004)。特别是养殖池塘内环境变化剧烈,

同时受养殖生物影响,浮游植物群落长期处于受干扰状态 (赵文等, 2003b)。黄河三角洲浅海有着特殊的地理和生态环境特点,例如潮差低、底质松软、池塘水体中硝态氮含量高、温度和盐度变化剧烈、有害藻类旺发等,这些特点成为制约海参分布和池塘养殖的瓶颈。研究养殖池塘内浮游植物多样性变动及其与环境变化关系,对开展养殖生态系统的生态调控研究具有重要意义 (孙耀等, 1998; 曹煜成等, 2007)。

本文研究了黄河三角洲区域海参养殖池塘中微型浮游植物多样性变动特征,探讨了可能导致其变化的最直接原因及最密切相关因素,以期对海参池塘生态养殖模式研究提供支持和依据。

1 材料与方法

1.1 采样地点及方法

1.1.1 采样地点 水样采集于黄河三角洲垦利县标准化海参池塘养殖基地 1[#]池、2[#]池和 3[#]池。其中 1[#]池和 2[#]池为海参养殖池塘,水深 1.5—2m,面积约

* 国家海洋公益性科研专项“黄河入海口生物资源可持续利用及海参池塘生态养殖模式研究”, 200705008 号; 山东省农业科技成果转化项目“黄河三角洲刺参池塘生态养殖模式及配套技术”, 2012—2014 年; 水生动物营养与饲料“泰山学者”岗位资助。王育红, 副研究员, E-mail: wangyvh@163.com

通讯作者: 杨建敏, 博士, 研究员, E-mail: ladderup@126.com

收稿日期: 2012-01-10, 收修改稿日期: 2012-03-18

有 10000m²。1[#]池、2[#]池海水首先经过储水渠进入储水池塘进行沉淀,每次按照 10%—20%的纳水量由轴流泵交换到 1[#]池、2[#]池中,每周 2 次。自 2007 年 11 月,开始在 1[#]池、2[#]池内放养海参苗种。2009 年后,由于储水池塘淤积,海水由储水渠直接引入 1[#]池、2[#]池中。3[#]为空白池(对照组),直接与储水渠相通。

1.1.2 采样方法 2008 年 4 月—2009 年 5 月,每月 2 次(春节期间取样暂停 1 个半月),使用 HT-800 采水器(2.5L)在 3 个池塘内分上下两层取样,上层取水层位于水下 0.2m 处,下层取水层位于水下 1m 处。每次取样 1L,现场使用浓度 10—15ml/L 的鲁哥氏碘液固定,带回实验室分析浮游植物物种组成。每层采取水样 1L,加入 2ml CHCl₃ 固定后冷冻保存,带回实验室进行营养盐分析。

1.2 测定方法

微型浮游植物测定: 微型浮游植物包括个体大小在 2—20μm 之间蓝藻、硅藻、金藻,以及超过 20μm 的甲藻和少量的裸藻。将水样摇匀,取 100ml 置于 250ml 分液漏斗中,沉淀 24h 以上,去除上清液,浓缩至一定体积,在 OLYMPUS 显微镜下 400 倍观察,进行种类鉴定,并用视野法进行计数。

小型浮游植物测定: 采用常规浓缩计数法计数。

营养盐测定: NO₃⁻-N、NO₂⁻-N、NH₄⁺-N、PO₄³⁻-P 等营养盐测定按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.4-2007)操作。

1.3 数据处理

数据处理见孙军等(2004)文献。

多样性指数采用 Shannon-Weaver 指数:

$$H' = -\sum_i^S P_i \ln P_i$$

式中, H' 为种类多样性指数; P_i 为第 i 种的个体数(n_i)或生物量(w_i)与总个体数(N)或总生物量(W)的比值(n_i/N 或 w_i/W)。

丰富度指数采用 Margalef 的计算公式:

$$d = (S-1) / \ln N$$

式中, d 为丰富度; S 为样品中的种类总数; N 为样品中的生物总个体数;

均匀度指数采用 Pielou 的计算公式:

$$J = H' / \ln S$$

式中, J 为均匀度; H' 为前式计算的种类多样性指数值。

2 结果

2008 年 4 月—10 月底,微型浮游植物在数量上

占绝对优势,虽然个别样品出现一些体积较大的小型硅藻和蓝藻,但数量很少,最高只占该池总数的 0.3%,因此本文计算丰度时将它们一起统计在内。但在 11 月后,出现了种类、数量较多的小型硅藻类。由于 2008 年与 2009 年进水渠道不同,本文中分段论述。

从 2008 年 4 月中旬—12 月底,1[#]池塘微型浮游植物的平均丰度为 1263.63×10⁴ 个/L,2[#]池塘的平均丰度为 3297.8×10⁴ 个/L,3[#]池塘的平均丰度为 1115.85×10⁴ 个/L。鉴定出微型浮游植物 8 个门,84 个种属(6 种未鉴定出)。其中蓝藻门(Cyanophyta)主要优势种为小形色球藻 [*Chroococcus minor* (KütZ) Näg]; 金藻门(Chrysophyta)主要优势种为球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa* Scherffel)、三毛金藻(*Prymnesium parvum* N. Carter)、卵形单鞭金藻(*Chromulina* sp.); 黄藻门(Xanthophyta)优势种为赤潮异弯藻(*Heterosigma akashiwo* Hada); 硅藻门(Bacillariophyta)主要优势种为海链藻(*Thalassiosira* sp.)、牟氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri* Lemmermann)、小环藻(*Cyclotella* sp.)、新月拟菱形藻(*Nitzschia closterium*)等; 甲藻门(Pyrophyta)出现频率较高的有米氏裸甲藻(*Gymnodinium mikimotoi* Miyake & Kominamiex)、强壮前沟藻(*Ampidinium carterae* Hulbert)、灰白下沟藻(*Katodinium glaucum* Loeblich); 隐藻门(Cryptophyta)主要优势种为蓝隐藻(*Chroomonas* sp.)、卵形隐藻(*Chroomonas ovata*); 绿藻门(Chlorophyta)主要优势种为球衣藻(*Chlamydomonas globosa* Snow)、小球藻(*Chlorella* sp.)、单鞭绿藻(*Resultor* sp.)等; 裸藻门(Euglenophyta)出现频率较少。

与海洋环境相比,黄河三角洲海参养殖池塘内环境变化剧烈。一方面,由于离黄河口较近,受黄河冲淡水影响,在盐度上季节变化明显;另一方面,由于池塘水深不到 2m,水温受光照影响强烈,波动范围较大。尽管 3 个实验池塘在盐度、水温和光照条件是一致的,但由于换水量不同,并且 1[#]池、2[#]池在一段时间内放养海参,因此 3 个池塘营养盐水平存在差异,导致池塘中微型浮游植物丰度差异较大。

2.1 多样性指数

1[#]池、2[#]池、3[#]池中微型浮游植物群落 H' 值差异较大,3[#]池 H' 值相对比较平稳,而 1[#]池塘和 2[#]池塘波动较大。在相同自然条件下,3 个池塘 H' 值变化趋势并不一致,与温度、盐度的相关系数分别为 -0.3032 ($n=11$)和 -0.0112 ($n=11$),说明温度和盐度对 H' 值变化影响不大,营养盐是导致 H' 值差异的主要原因(图 1)。

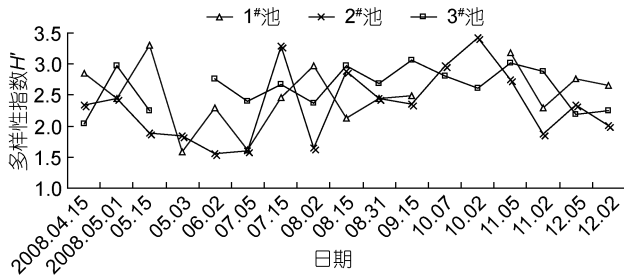


图1 黄河三角洲海参养殖池塘微型浮游植物多样性指数
Fig.1 Diversity index of Micro-phytoplankton in sea cucumber aquaculture ponds of Yellow River delta

1#池、2#池、3#池 N 元素(NO_3^- -N、 NO_2^- -N、 NH_4^+ -N)浓度都非常高,而 P 元素(PO_4^{3-} -P)浓度极低,有时甚至无法检出, N/P 比值远远高于 Redfield (1958)比值 16(表 1)。因此微型浮游植物群落 H' 值变化主要受 PO_4^{3-} -P 影响,而 PO_4^{3-} -P 往往是近岸河口区域初级生产力的主要限制因子(张辉等, 2009), 本文通过池塘微型浮游植物 H' 值变化也证实了这一观点。

尽管池塘中 N 元素含量很高,但 NH_4^+ -N 含量却较低而且变化很大,甚至有时无法检出,这一结果显示 NH_4^+ -N 也是黄河三角洲海参养殖池塘微型浮游植物 H' 值变化的另一主导因子(表 2)。

通过相关性分析发现, 5 月 30 日、7 月 5 日、8 月 31 日、9 月 15 日、10 月 7 日微型浮游植物群落 H' 值与 N/P 比值显著正相关(表 3); 除 5 月 30 日外,其余 4 次监测均检出 NH_4^+ -N(表 2)。在 5 月 30 日, 1#池检出大量牟氏角毛藻,丰度达 2815.6×10^4 个/L,占

该池总生物量的 76%; 2#池检出大量球衣藻和海链藻,球衣藻丰度达 2314.5×10^4 个/L,海链藻丰度达 1062.2×10^4 个/L,由于硅藻和绿藻优先选择吸收 NH_4^+ -N(王育红等, 2008), 牟氏角毛藻、球衣藻以及海链藻快速繁殖耗尽了水体中 NH_4^+ -N, 导致了 NH_4^+ -N 无法检出。

6 月 20 日、8 月 2 日微型浮游植物群落 H' 值与 N/P 比值显著负相关,但也没有检出 NH_4^+ -N。说明微型浮游植物群落在仅有 NO_3^- -N、 NO_2^- -N 存在的情况下, N 元素含量越高, H' 值就越低。而在只有 NO_3^- -N 存在的极端情况下,只有个别种类(如某些金藻、蓝藻)能快速生长,极易形成藻华,此时 H' 值将降至最低(王育红等, 2008)。

11 月 20 日 1#池、2#池、3#池均能检出 NH_4^+ -N, 但微型浮游植物群落 H' 值仍与 N/P 比值呈负相关。此时池塘水温已降至 4°C , 因而可能有 2 种原因导致了这种结果: (1) 受低温限制, 微藻代谢大幅下降, 对营养盐需求量显著降低, 因此 NH_4^+ -N 含量相对过剩; (2) 低温限制了某些种类生长, 造成池中物种数下降, H' 值降低。

7 月 15 日微型浮游植物群落 H' 值与 N/P 比值相关性较差, 11 月 5 日 H' 值与 N/P 比值无相关性。在这两次监测中, 只有 3#池检出 NH_4^+ -N(表 2), 但 3#池的 H' 值变化趋势与 1#池、2#池不同, 从而导致相关性较差或不存在相关性。12 月以后, 池塘水温已降至 0°C 左右, 微藻代谢降至最低, H' 值与 N/P 比值相关性也因此较差。

表 1 黄河三角洲海参养殖池塘中 N/P 比
Tab.1 N/P of sea cucumber aquaculture ponds of Yellow River delta

日期(月.日)	05.30	06.20	07.05	07.15	08.02	08.31	09.15
N/P	5454.8±0.14	1020.4±2.22	827.8±1.36	106.8±4.83	1502.6±2.75	784.9±0.97	776.4±4.86
日期(月.日)	10.07	10.20	11.05	11.20	12.05	12.20	—
N/P	321.9±1.61	33.2±0.85	9482.7±2.72	6631.6±3.39	639.5±2.34	1182.3±4.47	—

注: N/P 为 3 个池塘均值。营养盐从 5 月底开始测定, 8 月 15 日 2#、3#池未检出 PO_4^{3-} -P

表 2 黄河三角洲海参养殖池塘中 NH_4^+ -N 含量(mg/L)
Tab.2 Content (mg/L) of NH_4^+ -N in sea cucumber aquaculture ponds of Yellow River delta

日期	05.30	06.20	07.05	07.15	08.02	08.31	09.15	10.07	10.20	11.05	11.20	12.05
1#	0	0	0.01104	0	0	0.10489	0.07382	0.00182	0.18139	0	0.12185	0
2#	0	0	0.03783	0	0	0.03748	0.07225	0	0.07526	0	0.21346	0
3#	0	0	0.03600	0.04573	0	0.04713	0.02254	0.14121	0	0.06741	0.20916	0

表 3 黄河三角洲海参养殖池塘微型浮游植物多样性指数与 N/P 的相关系数($n=3$)
Tab.3 The relationship of Micro-phytoplankton diversity and N/P in sea cucumber aquaculture ponds of Yellow River delta ($n=3$)

日期	05.30	06.20	07.05	07.15	08.02	08.31	09.15	10.07	10.20	11.05	11.20	12.05
R	0.7227*	-0.8225	0.9522	-0.5941	-0.9025	0.9900	0.9572	0.8632*	-0.7145*	0.1011	-0.7599	0.2599

注: *表示 $n=4$

2.2 丰富度指数

1[#]池、2[#]池、3[#]池微型浮游植物群落 d 值变化趋势大体一致(图 2), 说明相对于营养盐、温度、盐度等环境变化是 d 值的主要影响因素。在温度范围 15—30℃ 之间, d 值与温度显著负相关, 其相关系数 $R = -0.8781$ ($n=11$), 说明温度是 d 值的重要影响因素, 在此温度范围内, 随着温度升高, d 值将明显降低。在盐度范围 22—32 之间, d 值与盐度负相关, 其相关系数 $R = -0.5355$ ($n=11$), 说明盐度对 d 值存在一定影响, 在此盐度范围内, 随着盐度升高, d 值将会出现一定程度下降。 d 值与 N/P 比值的相关性较差, 进一步说明营养盐不是 d 值的主要影响因素。

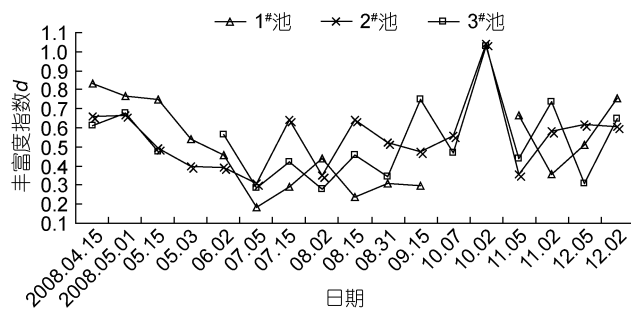


图 2 黄河三角洲海参养殖池塘微型浮游植物丰富度指数
Fig.2 Richness index of Micro-phytoplankton in sea cucumber aquaculture ponds of Yellow River delta

2.3 均匀度指数

1[#]池、2[#]池、3[#]池微型浮游植物群落 J 值变化趋势大体一致(图 3), 说明温度、盐度等环境变化是 J 值的主要影响因素。在温度范围 15—30℃ 之间, J 值与温度正相关, 其相关系数 $R=0.4531$ ($n=11$), 说明温度对 J 值存在一定影响, 在相应温度范围, 随着温度升高, J 值将出现一定程度升高。在盐度范围 22—32 之间, J 值与盐度正相关, 其相关系数 $R=0.4910$ ($n=11$), 说明盐度同样对 J 值存在一定影响, J 值将随着盐度升高出现一定程度升高。 J 值与 N/P 比值相关性较差, 说明营养盐不是 d 值的主要影响因素。

2009 年后因进水渠道发生了改变, 海水直接进入 1[#]池、2[#]池, 1[#]池、2[#]池内的浮游植物群落动态发生了较大变化, 微型藻类丰度显著降低, 已不适合作上述分析。

3 讨论

生物多样性是描述生物群落结构特征的重要参数,

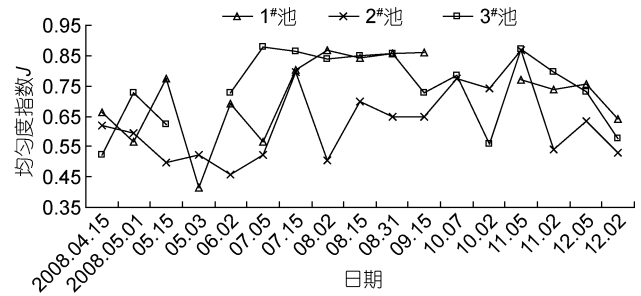


图 3 黄河三角洲海参养殖池塘微型浮游植物均匀度指数
Fig.3 Evenness index of Micro-phytoplankton in sea cucumber aquaculture ponds of Yellow River delta

它与生态系统的稳定性有着密切联系(Mac.ARHUR, 1955; Eltoncs, 1958), 它能够反映群落中的物种和种间数量分配的度量(黄邦钦等, 1995)。因此, 研究养殖池塘浮游植物多样性变动及其与环境变化(特别是人为干扰)的关系, 具有重要的理论和实际应用价值(孙军等, 2004)。

浮游植物倾向优先于吸收水体中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 作为氮源合成细胞原生质进行繁殖(杨旭光等, 2007), 同时释放氧气。多数学者认为 N/P 比值 16 (Redfield 比值)为浮游植物生长的最适氮、磷比值(邹迪等, 2005; 刘东艳等, 2002), N/P 比值低于 16, 表明藻类的生长受 N 限制, 而 N/P 比值高于 16, 则表明受 P 限制。不同的浮游植物在不同的生活时期有各自独特的营养需求, 在对营养盐的竞争过程中, 营养的供应状况会对浮游植物的群落结构产生调节作用(张利民等, 2012)。本研究也证明, 池塘中 N/P 的演变过程导致了浮游植物群落优势种的改变。

通过研究发现, 微型浮游植物群落 H' 值受多种因素影响。其中群落各种类丰度是 H' 值的直接决定因素, H' 值与群落第一优势种丰度显著负相关 $R = -0.7604$ ($n=10$), 说明群落组成结构越单一, H' 值越低。研究还发现温度和盐度对 H' 值变化影响不大, 营养盐是导致 H' 值变化的间接影响因素。1[#]池、2[#]池、3[#]池中 N/P 比值远远超过 Redfield 比值, 池塘中微型浮游植物群落将受 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 限制。对 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 选择吸收的某些金藻、甲藻将大量繁殖, 迅速将水体中 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 耗尽, 从而使其它种类生长受到抑制, 导致单一或者某几个物种丰度显著提高, H' 值大幅下降。这也与黄邦钦(1999)¹⁾在近岸河口海区的研究结果一致。

尽管池塘中 N 元素含量相对过剩, 但 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含

1) 黄邦钦, 1999. 微型浮游植物在台湾海峡及厦门西海域的碳磷循环中的作用研究. 厦门: 厦门大学博士学位论文, 106—109

量极低, 有时甚至无法检出, 因此 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 也是 H' 值的重要限制因子。在 4 次监测中没有检出 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, 而优先选择吸收 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的牟氏角毛藻、球衣藻、海链藻丰度大幅提高, 从而使 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 值降低。研究发现, 在营养盐结构不均衡条件下, 特别是 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 缺失, 甚至只有 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 存在的情况下, 只有个别种类能够迅速大量繁殖, 甚至形成藻华, 而这无疑对水体健康、池塘养殖极为不利(钱鲁闽等, 2005)。

而通过对 d 值与环境因子之间的关系研究发现, 营养盐不是 d 值的首要影响因素。 d 值受温度影响最为显著, 并在一定温度范围内, 随着温度的升高而降低。在营养盐充足的条件下, 温度越高, 微型浮游植物生长越旺盛, 丰度也就越高, 从而导致了 d 值降低。 d 值与盐度呈一定程度负相关, 随着盐度升高而降低, 这可能由于群落长期受黄河冲淡水影响, 某些低盐度品种如角毛藻和某些淡水种类如球衣藻大量繁殖所致。 J 值同样也受营养盐影响较小, 并与温度、盐度呈正相关, 但相关性不强, 因为 H' 值是 J 值的主要影响因素之一, 所以 J 值与温度、盐度相关性较差可能与 H' 值受温度、盐度影响较小有关。

通过本研究发现, 池塘微型浮游植物群落多样性受温度、盐度以及营养盐多种环境因子共同影响, 且 H' 值、 d 值、 J 值受各环境因子影响程度各不相同。养殖池塘受地缘因素影响, 温度、盐度以及营养盐在短时间和长时间尺度内都存在较大波动, 群落也因此一直处于受干扰状态。处于河口地区的池塘, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量高是一个明显的特点。在春、夏、秋季, 这种高浓度的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 会造成某单一品种的金藻或蓝藻的快速生长, 使多样性指数下降, 甚至产生毒素, 对生态环境极为不利。在上述的分析中可以看出, 当 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量高时, H' 也较高, 因此提高 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量很有必要。可以通过适当提高养殖品种密度或不同品种混养, 及增加人工投饵量, 以保持 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量, 使 H' 维持在较高的水平, 这样既提高了池塘的初级生产力, 也使生态环境处于较稳定的状态。当然 N/P 比值的不同及 $\text{NH}_4^+ - \text{N} / \text{NO}_3^- - \text{N}$ 比值的不同都会直接影响 H' , 因此, 维持怎样的营养盐结构, 使微型浮游植物群落能够保持较高的多样性, 维持池塘内水质安全, 仍需进一步研究。

参 考 文 献

王育红, 杨秀兰, 吕振波等, 2008. 山东近岸海湾微型浮游植物分布及其丰度与营养盐相关性研究. 海洋与湖沼, 39(6):

- 643—649
- 邓建明, 蔡永久, 陈宇炜等, 2010. 洪湖浮游植物群落结构及其与环境因子的关系. 湖泊科学, 22(1): 70—78
- 刘东艳, 孙 军, 巩 晶, 2002. 不同氮磷比对球等鞭金藻生长的影响. 海洋水产研究, 23(1): 29—32
- 孙 军, 刘东艳, 2004. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用. 海洋学报, 26(1): 62—75
- 孙 耀, 李 锋, 李 健等, 1998. 虾塘水体中浮游植物群落特征及其营养状态的关系. 海洋水产研究, 19(2): 45—51
- 杨旭光, 李文奇, 周怀东等, 2007. 河北哑河水库不同季节中微囊藻毒素-LR 与 N、P 之间的关系. 湖泊科学, 19(2): 131—138
- 邹 迪, 肖 琳, 杨柳燕等, 2005. 不同氮磷比对铜铝微囊藻及附着假单胞菌磷代谢的影响. 环境化学, 24(6): 647—650
- 张 辉, 石晓勇, 张传松等, 2009. 北黄海营养盐结构及限制作用时空分布特征分析. 中国海洋大学学报(自然科学版), 39(4): 773—780
- 张利民, 宫向红, 2012. 水域营养生态学. 北京: 海洋出版社, 149—161
- 赵 文, 董双林, 张兆琪等, 2003a. 盐碱池塘浮游植物初级生产力日变化的研究. 应用生态学报, 14(2): 234—236
- 赵 文, 董双林, 李德尚等, 2003b. 盐碱池塘浮游植物初级生产力的研究. 水生生物学报, 27(1): 47—54
- 栾青杉, 孙 军, 宋书群等, 2007. 长江口夏季浮游植物群落与环境因子的典型对应分析. 植物生态学报, 31(3): 445—450
- 钱鲁闽, 徐永健, 王永胜, 2005. 营养盐因子对龙须菜和菊花江蕨氮磷吸收速率的影响. 台湾海峡, 24(4): 546—551
- 黄邦钦, 洪华生, 王海黎, 1995. 微型浮游植物在环境科学研究中的应用. 福建环境, 12(4): 18—19
- 曹煜成, 李卓佳, 杨莺莺等, 2007. 浮游微藻生态调控技术在对虾养殖应用中的研究进展. 南方水产, 3(4): 70—73
- 章守宇, 邵君波, 戴小杰, 2001. 杭州湾富营养化及浮游植物多样性问题的探讨. 水产学报, 25(6): 512—517
- Boyd C E, 1990. Water Quality Management for Pond Fish Culture. Elsevier: Scientific Publishing Company, 101—113
- Caraco N, Tamse A, Boutros O *et al*, 1987. Nutrient limitation of phytoplankton growth in brackish coastal ponds. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 44(2): 473—476
- Eltoncs, 1958. The Ecology of Invasions by Animals and Plants. London, Chapman and Hall: 143—153
- Goldman C R, 1969. Primary Productivity in Aquatic Environments. California: University of California Press, 1—464
- Mac.ARHUR R, 1955. Fluctuations of animal populations, and a measure of community stability. Ecology, 36(3): 533—536
- Redfield A C, 1958. The biological control of chemical factors in the environment. American Scientist, 46(3): 205—221

THE STUDY OF BIODIVERSITY OF MICRO-PHYTOPLANKTON IN SEA CUCUMBER AQUACULTURE PONDS OF YELLOW RIVER DELTA

WANG Yu-Hong, YANG Jian-Min, ZHANG Ming-Liang, SONG Xiang-Jun,
WANG Wei-Jun, SUN Guo-Hua, WEI Xiu-Mei

(*Shandong Marine Fisheries Research Institute, Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Yantai, 264006*)

Abstract The impacts of temperature, salinity and nutrition salts on the diversity of Micro-phytoplankton in sea cucumber aquaculture ponds of Yellow River delta are studied using the method of correlative analysis. It is found that diversity index H' is limited by nutrition salts especial by PO_4^{3-} -P, NH_4^+ -N primarily. H' is limited by nutrition salts especial by PO_4^{3-} -P, NH_4^+ -N primarily. But the main limiting factors for richness index d is temperature, salinity and nutrition salts impact the d not obviously. In the temperature range of 15—30°C and salinity range of 22—32, d decline as the increasing of temperature and salinity respectively. Evenness index J is impacted by nutrition salts not obviously, but rising as the increasing of temperature and salinity in the temperature range of 15—30°C and salinity range of 22—32 respectively. Micro-phytoplankton community is not stable and diversity is disturbed for the fluctuate of temperature, salinity and nutrition salts.

Key words Yellow River delta; sea cucumber aquaculture ponds; micro-phytoplankton; diversity index; correlation