

莱州湾虾池养殖罗非鱼的静水围隔 生态系浮游植物的初步研究*

卢敬让 李德尚 杨红生 徐 宁 张鸿雁

(青岛海洋大学, 266003)

摘 要 本文报道了在1994年7月至9月间莱州湾海水养罗非鱼围隔生态系浮游植物优势种、叶绿素浓度与理化因子的关系。各浮游植物优势种与理化因子的相关性基本一致,但其相关程度不同,主要优势种卵形隐藻、海洋原甲藻和扁藻与各理化因子的关系最紧密。从总体水平上,各种理化因子对浮游植物影响的相对重要性依次为 $TN > pH > TP > NO_2-N > DO > COD > SD > NH_4-N > PO_4-P$ 。氮磷对浮游植物的相对影响取决于氮、磷的比值。在本实验条件下,适宜的 TN/TP 为18左右。施鸡粪和投饵两种养鱼方式中,氮和磷分别是浮游植物生长的限制因子。本文还就浮游植物变动对罗非鱼的影响进行了讨论。

关键词 浮游植物,理化因子,围隔生态系;罗非鱼,海水池塘,莱州湾

浮游植物在养殖水体中既可以作为养殖动物的基础饵料,又可以通过光合作用起到调节水环境的作用。对淡水池塘中浮游植物的变动与水质及养鱼的关系人们较早给予了重视^[7]。但对海水池塘浮游植物的研究则只是近几年才开展起来。Motzkin et al. (1982)对比研究了养鱼和不养鱼海水池塘的初级生产力^[5];Krom et al. (1989)观察到鱼池浮游植物的变动周期与池塘的富营养化程度有关^[4];Neori et al. (1989)观察到浮游植物变动与池塘水质和动物摄食有关^[6]。这些研究都是在海水精养金头鲷 *Sparus aurata* 池塘中通过观察叶绿素浓度的变化所得到的结果。国内对海水池塘浮游植物的研究还很少,特别是对浮游植物的变动规律和影响因子的系统研究报道更不多见。我们于1994年7-9月间在胜利石油管理局水产公司对虾养殖场应用受控实验围隔生态系技术研究了放养罗非鱼的海水静水围隔生态系中的浮游植物的数量(叶绿素浓度)和优势种与环境因子和鱼类放养方式的关系,以期对海水养鱼池塘有效的水质管理提供科学依据。

材 料 和 方 法

(一)围隔及实验条件

收稿日期:1995-04-10。

* 本研究是国家攀登计划 B PD-B6-7-3 专题《对虾池生态系及其结构与功能的优化》的部分成果。

在 1.7 公顷的虾池中,设置和使用了 15 个长 8m、宽 3m、高 2.5m(水深 2m)的双面涂塑高密度聚乙烯编织布围隔,围隔排间距 6m,隔间距 3m。各围隔放养罗非鱼情况和养殖方式见表 1。养殖期间水温为 25.1~30.7℃、盐度为 25.9~29.4‰、pH7.74~8.87。

(二)罗非鱼

台湾红罗非鱼(*Oreochromis niloticus*(♂)×*O. mossambicus*(♀)),规格为 122.3g/ind.; 奥尼罗非鱼(*O. aureus*(♂)×*O. niloticus*(♀)),规格为 103.9g/ind.;均取自山东省胶州市淡水水产良种场,实验前均经过一个月的驯化,最终盐度达到 29.4‰。

(三)肥料和饲料

分别使用胜利石油管理局水产公司养鸡场和饲料场提供的鸡粪和罗非鱼饲料作为本实验用的肥料和饲料。

(四)取样和测定

每天 2 次(早和晚)现场测定和记录天气、水温、水色、pH、溶氧(DO)和透明度(SD),每隔 10 天(其中 A4、A5、B16 和 C3 及设围隔的池塘每隔 2 天)在现场实验室测定 1 次营养盐(包括 TP、PO₄-P、TN、NO₂-N、NH₄-N 和 COD)和生物样品,每次采样选定上午 8-10 时。采样方法及实验和测定方法均按《海洋调查规范》^[1]进行。

表 1 各围隔放养罗非鱼情况和养殖方式

Table 1 Stocking patterns in different enclosures with different culture methods

围隔 Enclosure	A2	A4	A6	A7	A13	A15	A17	A18	B16	C1	C3	C5	C7	C14
放养模式 Stocking pattern	施肥养台湾红罗非鱼 Red tilapia rearing with chicken manure				投饵养台湾红罗非鱼 Red tilapia rearing with feeding				对照 Contrast	投饵养奥尼全雄罗非鱼 Blue tilapia rearing with feeding				
放养尾数 Stocking numbers	9	18	27	36	16	12	40	39	0	18	20	21	18	15
放养重量(g) Stocking weights	1130	1560	3210	4500	2925	1605	4450	5435	0	1960	1935	1690	1710	1575
放养日期 Stocking date	1994 年 7 月 26 日 July 26, 1994				1994 年 7 月 26 日 July 26, 1994					1994 年 7 月 15 日 July 15, 1994				

结 果 和 讨 论

(一)浮游植物优势种及叶绿素浓度与理化因子的关系

1. 优势种生物量与主要环境因子水平的单相关分析 将各样本中的第一和第二优势种生物量与主要环境因子水平进行单相关分析的结果见表 2。从总体上看,各主要优势种与 PO₄-P、SD 呈负相关,而与 TN、TP、COD 和 pH 正相关;硅藻和扁藻(*Platymonas tetrahele*)与各因子的相关性比隐藻和原甲藻较弱。卵形隐藻(*Cryptomonas ovata*)、海洋原甲藻

(*Prorocentrum micans*)和扁藻一般作为第一优势种(特别是前2种)出现在群落中,因而与环境的关系最为密切。洛氏角毛藻(*Chaetoceros lorenzianus*)一般作为第二优势种与卵形隐藻(并伴有扁藻和金藻)一同出现。卵形隐藻和海洋原甲藻是富营养优势种,因而与COD关系最为密切。林昱等^[2]在研究营养盐对海洋藻类的影响中,认为营养盐输入的增大必然会导致显著优势种的形成及其数量的增长,本结果与该结论基本一致。

表2 优势种与理化因子的相关关系

Table 2 Relationships between the dominant species of phytoplankton and physico-chemical factors

优势种 Dominant species	理化因子 Physico-chemical factors	n	r	p
洛氏角毛藻 (<i>Chaetoceros lorenzianus</i>)	PO ₄ -P	10	-0.24	<0.05
	TP	10	0.31	<0.05
	TN	10	0.27	<0.05
	COD	10	0.14	<0.05
	SD	10	-0.28	<0.05
	pH	10	0.28	<0.05
卵形隐藻 (<i>Cryptomonas ovata</i>)	PO ₄ -P	11	-0.61	>0.05
	TP	11	0.71	>0.05
	TN	11	0.63	>0.05
	COD	11	0.74	>0.01
	SD	11	-0.73	>0.01
	pH	11	0.82	>0.01
海洋原甲藻 (<i>Prorocentrum micans</i>)	PO ₄ -P	12	-0.79	>0.01
	TP	12	0.94	>0.01
	TN	12	0.48	<0.05
	COD	12	0.86	>0.01
	SD	12	-0.98	>0.01
	pH	12	0.94	>0.01
扁藻 (<i>Platymonas tetrahele</i>)	PO ₄ -P	10	-0.49	<0.05
	TP	10	0.45	<0.05
	TN	10	0.53	<0.05
	COD	10	0.63	>0.05
	SD	10	-0.67	>0.05
	pH	10	0.28	<0.05

2. 各理化因子与浮游植物关系的相对重要性 通过偏回归分析各样本的平均值得到各理化因子与叶绿素浓度的关系及其重要程度(表3)。Chl. 与SD、NH₄-N和PO₄-P呈负相关,但不显著;而与TP、NO₂-N、TN和pH呈正相关,而且相关显著。这一结果与Neori et

al.^[6]在海水养殖金头鲷 *Sparus aurata* 的池塘中所观察到的一致。各因子对 Chl. 的相对重要性次序为 $TN > pH > TP > NO_2-N > DO > COD > SD > NH_4-N > PO_4-P$ 。

表 3 叶绿素浓度与理化因子的偏相关分析结果

Table 3 The partial analysis results of the concentrations of chlorophyll and physico-chemical factors

因子 Factors	偏相关系数 Coefficient of partial relationship	T-检验 T-test	n	p
PO_4-P	-0.252	0.58	16	<0.05
TP	0.746	2.51	16	>0.05
NO_2-N	0.738	2.45	16	>0.05
NH_4-N	-0.358	0.08	16	<0.05
TN	0.781	2.79	16	>0.05
COD	0.584	1.61	16	<0.05
SD	-0.446	1.11	16	<0.05
DO	0.639	1.85	16	<0.05
pH	0.761	2.62	16	>0.05

水域中引起生产力增高的最重要营养因素是磷和氮,而磷和氮的影响程度又与两者的比值相关。在本研究中,通过抛物线回归分析得出关系式如下:

$$Chl = 39.56 + 1.77(TN/TP) - 0.04(TN/TP)^2$$

$$[F_{(2,45)} = 4.29 > F_{0.05(2,45)} = 3.20]$$

表明浮游植物叶绿素浓度与 TN/TP 显著相关,由此可见用总磷总氮之比来研究磷氮浓度对浮游植物生产力的影响更为重要。

在淡水水域,一般说来藻类对氮磷比的营养需求量为 $7 \sim 10^{(7)}$ 。而在海水中尚未有统一的观点,早期的研究如 Motzkin et al. (1982)观察到在氮磷比为 18-80 的养殖过程中磷是初级生产的限制因子。通过对本研究中数据的简回归分析得到如下结果:

当 $TN/TP < 7$ 时

$$r_{chl-TP} = -0.362$$

不相关

$$r_{chl-TN} = 0.860 > r_{0.01(13-2)} = 0.684$$

相关极显著

当 $TN/TP = 7-18$ 时

$$r_{chl-TP} = 0.242$$

不相关

$$r_{chl-TN} = 0.473 > r_{0.05(18-2)} = 0.468$$

相关显著

当 $TN/TP > 18$ 时

$$r_{chl-TP} = 0.723 > r_{0.01(24-2)} = 0.515$$

相关极显著

$$r_{chl-TN} = 0.132 < r_{0.05(24-2)}$$

不相关

简回归表明 $TN/TP < 18$ 时, Chl 与 TP 无关,而与 TN 相关紧密,并且随着 TN/TP 的提高,与 TN 的相关性趋弱; $TN/TP > 18$ 时, Chl 与 TP 相关紧密,磷限制。因此,通过本实验只能估计合适的氮磷比值大致为 18 左右。

(二)浮游植物与鱼类养殖方式的关系

从总体上看,施肥和投饲养罗非鱼的围隔在叶绿素浓度和优势种上很接近,它们的叶绿素浓度都比围隔外不受施肥和投饲影响的池塘和对照围隔高 4~5 倍,这与 Motzkin et al.^[3]对放鱼和未放鱼池塘的研究结果相似;施肥和投饲养鱼条件下都有明显的相同的优势种出现,且都是喜富营养种(表 4)。

表 4 各类实验围隔和无鱼池塘中的叶绿素浓度和优势种
Table 4 Chlorophyll concentrations and dominant species in different experimental enclosures and unstocked pond

指标 Index	不养鱼池塘 Pond without rearing fish	对照围隔 Contrast enclosure	施肥养罗非鱼围隔 Enclosure rearing tilapia with chicken manure	投饲养罗非鱼围隔 Enclosure rearing tilapia with feeding
Chl(mg/m ³)	11.84±4.03	12.32±4.03	51.92±45.21	43.99±25.42
Chl-a(mg/m ³)	6.15±2.78	6.17±3.69	30.30±26.17	25.21±14.82
优势种 Dominant species	无 No	角毛藻、 <i>Chaetoceros</i> <i>lorenzianus</i> 、 扁藻 <i>Platymonas</i> <i>tetrathele</i>	卵形隐藻、角毛藻、 <i>Cryptomonas ovata</i> 、 <i>C. lorenzianus</i> 、 海洋原甲藻、扁藻 <i>Prorocentrum micans</i> 、 <i>P. tetrathele</i>	同施肥 The same as the enclosure rearing tilapia with chicken manure

在施肥(鸡粪)养罗非鱼围隔中,磷浓度很高,TN/TP 平均为 9.71±4.02,范围在 3~17 之间,单相关分析表明叶绿素总量与 TN 紧密正相关($R(16)=0.444$),而与 TP 不相关,证明均属于氮抑制。在投饲养罗非鱼围隔中, TN/TP 平均为 38.55±14.37,范围在 10~64 之间,单相关分析表明叶绿素总量与 TP 紧密正相关($R(24)=0.946$),而与 TN 相关不显著,因此均属于磷抑制。

通过逐步回归(数据自 4 次取样样本)得出两种养鱼方式下,叶绿素浓度与理化因子的关系如下:

A:施肥养鱼的回归方程,取 $F=0.5$

$$\text{Chl} = -155.28(\text{NO}_2 - \text{N}) - 235.49(\text{NH}_4 - \text{N}) + 30.53(\text{TN}) + 73.22(\text{COD}) + 367.80(\text{pH}) - 3435.77$$

$$F_{(5,18)} = 9.81 > F_{0.01} = 4.25, R = 0.967$$

B:投饲养鱼的回归方程,取 $F=1$

$$\text{Chl} = 345.33 - 911.40(\text{PO}_4 - \text{P}) + 1309.43(\text{TP}) - 50.39(\text{NO}_2 - \text{N}) - 2343.36(\text{NH}_4 - \text{N}) + 10.11(\text{COD}) + 47.27(\text{pH})$$

$$F_{(6,17)} = 8.88 > F_{0.01} = 4.10, r = 0.956$$

氮和磷分别在两种养殖方式中起着影响浮游植物叶绿素浓度的主导作用。在两种养殖方式下 pH 和 COD 都与叶绿素浓度呈正相关。

关于浮游植物对罗非鱼的影响,表 5 表示出了观察到的一些结果,不同优势种的发生影响到了罗非鱼的摄食、存活和生长。实验表明:①以硅藻、绿藻或隐藻为主构成的群落对罗非

表 5 所测定的主要浮游植物优势种和发生水华情况、罗非鱼成活率和净增百分率
Table. 5 The dominant species and occurred blooms of phytoplankton and the survival rate and percentage of net increase of stocked tilapia

处理 Enclosure	A2	A6	A7	A13	A15	A17	A18	C3	C5	C7
养殖模式 Stocking pattern	投饲罗非鱼 Tilapia—rearing with feeding (放养量, 少→多) (Fertilization, small→large)									
主要优势种 Main dominant species	卵形隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i> 角毛藻 <i>Chaetoceros lorenzianus</i> 圆海链藻 <i>Thalassiosira rotula</i>	角毛藻 <i>C. lorenzianus</i> 卵形隐藻 <i>C. ovata</i>	角毛藻 <i>C. lorenzianus</i> 海洋原甲藻 <i>Prorocentrum micans</i>	卵形隐藻 <i>C. ovata</i>	扁藻 <i>platismenus</i> 卵形隐藻 <i>tetrahale</i> 圆海链藻 <i>T. rotula</i>	扁藻 <i>P. tetrahale</i> 卵形隐藻 <i>C. ovata</i>	扁藻 <i>P. tetrahale</i>	海洋原甲藻 <i>P. micans</i>	扁藻 <i>P. tetrahale</i>	扁藻 <i>P. tetrahale</i>
水华及影响 Bloom and its effects on fish	卵形隐藻 <i>C. ovata</i> 水华四天 Bloom for 4 days 鱼摄食减少 Decrease in feeding	卵形隐藻 <i>C. ovata</i> 水华四天 Bloom for 4 days 鱼摄食减少 Decrease in feeding	海洋原甲藻 <i>P. micans</i> 水华三天 Bloom for 3 days 鱼摄食减少 Decrease in feeding	实角多甲藻 <i>Peridinium solidiroren</i> 水华三天 Bloom for 3 days 鱼死亡 50% The died fish by 50%	实角多甲藻 <i>Peridinium solidiroren</i> 水华三天 Bloom for 3 days 鱼死亡 40% The died fish by 40%	实角多甲藻 <i>Peridinium solidiroren</i> 水华八天 Bloom for 8 days 鱼摄食减少 Decrease in feeding	海洋原甲藻 <i>P. micans</i> 水华八天 Bloom for 8 days 鱼摄食减少 Decrease in feeding	海洋原甲藻 <i>P. micans</i> 水华八天 Bloom for 8 days 鱼摄食减少 Decrease in feeding	海洋原甲藻 <i>P. micans</i> 水华八天 Bloom for 8 days 鱼摄食减少 Decrease in feeding	海洋原甲藻 <i>P. micans</i> 水华八天 Bloom for 8 days 鱼摄食减少 Decrease in feeding
罗非鱼成活率(%)	100	78	75	94	92	47	54	100	81	100
存活率 of tilapia(%)	0.92	0.10	0.05	0.39	0.52	0.47	0.54	0.63	0.75	0.75
净增百分率(%)										
Percentage of net increase of tilapia(%)										

鱼有利。②施肥和投饲都可能引起水华,产生水华的种类为海洋原甲藻、实角多甲藻和卵形隐藻,引起水华的直接原因是施肥、投饵和高温。当水华过浓时,罗非鱼摄食减少,水华崩溃后溶氧剧降,引起罗非鱼死亡。Krom et al.^[3]在对金头鲷 *Sparus aurata* 死亡原因的研究中也得到相同的结论。

小 结

1. 各种浮游植物优势种与理化因子的相关性基本一致,但其相关程度不同,关系最紧密的是主要优势种,即卵形隐藻、海洋原甲藻和扁藻;它们也是本实验条件下各养鱼围隔区别于对照围隔和池塘浮游植物群落的主要种类。
2. 从总体平均水平上看,各因子与叶绿素总量关系的紧密性依次为 $TN > pH > TP > NO_2 - N > DO > COD > NH_4 - N > PO_4 - P$ 。浮游植物与营养盐的关系与氮、磷的比值有关的。在本实验条件下, TN/TP 为 18 左右最为合适,高于该范围时叶绿素总量与 TP 显著正相关,低于该范围时叶绿素总量与 TN 显著正相关。
3. 从优势种和叶绿素量的总体平均水平看,施肥和投饲养罗非鱼两种方式的初级生产力很接近,都比无鱼条件下高 4—5 倍。
4. 施鸡粪养罗非鱼, TN/TP 比很低,氮为限制元素;投饲养罗非鱼,磷成为限制元素。氮和磷分别在两种方式中对浮游植物的生长起着主导作用。
5. 优势种的组成和增殖对罗非鱼的生长有显著影响。硅藻、隐藻、绿藻的适度水华对罗非鱼生长有利;而水华过浓时不利,特别是发生甲藻水华时,罗非鱼摄食减少;水华崩溃后水中缺氧引起鱼大量死亡。

参 考 文 献

- [1] 海洋调查规范,中华人民共和国国家标准,GB 12763. 6—91. 1991,中国标准出版社。
- [2] 林昱,唐森铭,庄栋法,陈孝麟,1994. 海洋围隔生态系中无机氮对浮游植物演替的影响,生态学报,14(3):323—326。
- [3] Krom, M. D., C. B. Porter and H. Gordin, 1985b. Causes of fish mortalities in the semi-intensively operated seawater ponds in Eilat, Israel. *Aquaculture*, 48—49(1—4): 159—177.
- [4] Krom, M. D., J. Erez, C. B. Porter and S. Ellner, 1989. Phytoplankton nutrient uptake dynamics in earthen marine fishponds under winter and summer conditions. *Aquaculture*, 76(3—4): 237—253.
- [5] Motzkin, F., Y. Cohen, H. Gordin and E. Padan, 1982. Productivity relations in seawater fishponds: a comparison of stocked and unstocked ponds. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 8: 203—210.
- [6] Neori, A., M. D. Krom, I. Cohen and H. Gordin, 1989. Water quality conditions and particulate chlorophyll of new intensive seawater fishponds in Eilat, Israel: daily and diel variations. *Aquaculture*, 80: 63—28.
- [7] Wetzel, R. G., 1983. *Limnology*, pp767, by CBS College Publishing, Printed in the United States of America.

PRELIMINARY STUDIES OF PHYTOPLANKTON IN ENCLOSED TILAPIA—REARING ECOSYSTEMS IN SEAWATER PONDS IN LAIZHOU BAY

Lu Jingrang, Li Deshang, Yang Hongsheng, Xu Ning, Zhang Hongyan
(Ocean University of Qingdao, 266003)

ABSTRACT This paper reports the results of a preliminary study of the relationship between the dominant species and chlorophyll content of phytoplankton and TN, TP, COD, $\text{NH}_4\text{-N}$, pH, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ and DO. The relationship between each dominant species and physico-chemical factors is consistent, but their relativity different. The main dominant species such as *Cryptomonas ovata*, *Prorocentrum micans* and *Platymonas tetrahele* are most closely related to the factors. On the average level, the order of relative importance between the factors and the total chlorophyll is as follow: $\text{TN} > \text{pH} > \text{TP} > \text{NO}_2\text{-N} > \text{DO} > \text{COD} > \text{NH}_4\text{-N} > \text{PO}_4\text{-P}$. The relationship between the total chlorophyll and nitrogen and phosphorus depends on the value of TN/TP. Under conditions of the experiment, the most suitable range of TN/TP to the growth of phytoplankton is about 18. In the model of tilapia-rearing with chicken manure, the value of TN/TP is low and nitrogen is the limited factor; in the model of tilapia-rearing with feeding, TN/TP high, and phosphorus is the limited factor. Nitrogen and phosphorus play a major role in the two tilapia-rearing model respectively. The approachments to the effects of phytoplankton on tilapia are also discussed in this paper.

KEYWORDS Phytoplankton, Enclosure ecosystem, Tilapia, Seawater pond, Laizhou Bay