

文章编号:1000 - 0615(2004)02 - 0167 - 08

轮虫培育池不同粒级藻类对 浮游植物生物量和生产量的贡献

赵 文¹, 李晓东^{1,2}, 徐纪军¹

(1. 大连水产学院生命科学与技术学院, 辽宁 大连 116023;

2. 盘锦光合水产有限公司, 辽宁 盘锦 124010)

摘要:研究了流水轮虫培育池(14[#])、静水轮虫培育池(15[#])和轮虫饵料培养池(11[#])中不同粒级浮游植物,特别是超微藻类对浮游植物叶绿素和初级生产力的贡献。结果表明,在 14[#]池中,超微藻类、微型藻类和小型藻类的叶绿素 a 含量分别占总叶绿素 a 含量的 3.7%、82.9%和 13.4%。各粒级浮游植物初级生产力分别占总生产力的 13.6%、66.0%和 20.4%。在 11[#]池中,超微藻类、微型藻类和小型藻类的叶绿素 a 含量分别占总叶绿素 a 含量的 4.5%、16.1%和 79.4%。各粒级浮游植物初级生产力分别占总生产力的 9.0%、78.9%和 12.1%。在 15[#]池超微藻类、微型藻类和小型藻类的叶绿素 a 含量分别占总叶绿素 a 含量的 4.7%、22.3%和 73.0%。各粒级浮游植物初级生产力分别占总生产力的 12.4%、60.8%和 27.8%。水体中的初级生产力主要是由微型藻类提供,占总量的 60.8%~78.9%,在轮虫培育池生态系统中微型藻类是主要生产者。

关键词:不同粒级浮游植物;超微藻类;叶绿素 a;初级生产力;轮虫培育池;生态系统

中图分类号:S968.4 文献标识码:A

The contribution of size fractionated algae to biomass and primary production of phytoplankton in rotifer culturing ponds

ZHAO Wen¹, LI Xiao-dong^{1,2}, XU Ji-jun¹

(1. College of Life Sciences & Biotechnology, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China;

2. Panjin Photosynthesis Fisheries Ltd Co, Panjin 124010, China)

Abstract: Primary productivity, biomass and chlorophyll-a of size fractionated phytoplankton ($<0.2\mu\text{m}$, $<2\mu\text{m}$ and $<200\mu\text{m}$) were estimated in three ponds. The ratio of the concentrations of chlorophyll-a of the phytoplankton to the total chlorophyll-a in the corresponding size of pico- ($<2\mu\text{m}$), nano- ($2-20\mu\text{m}$) and micro- ($20-200\mu\text{m}$) in the experimental ponds 14 was 3.7%, 82.9% and 13.4%, respectively. The ratio of the production of size fractionated phytoplankton to the total phytoplankton production corresponding to pico-, nano- and micro-algae were 13.6%, 66% and 20.4%, respectively. The ratio of the concentrations of chlorophyll-a of the phytoplankton to the total chlorophyll-a in the corresponding size of pico- ($<2\mu\text{m}$), nano- ($2-20\mu\text{m}$) and micro- ($20-200\mu\text{m}$) in the experimental ponds 11 was 4.5%, 16.1% and 79.4%, respectively. The ratio of the production of size fractionated phytoplankton to the total phytoplankton production corresponding to pico-,

收稿日期:2002-09-05

资助项目:辽宁省自然科学基金项目(002119)和辽宁省博士启动基金项目(001052)

作者简介:赵 文(1963-),男,吉林农安人,教授,博士。主要从事水生生物学、水产养殖生态学的研究。E-mail:zhaowen@mail.

dlptt.ln.cn

nanor and micro- algae was 9.0%, 78.9% and 12.1%, respectively. The ratio of the concentrations of chlorophyll-a of the phytoplankton to the total chlorophyll-a in the corresponding size of picor-, nanor- and micro- algae in the experimental ponds 15 was 4.7%, 22.3% and 73.0%, respectively. The ratio of the production of size fractionated phytoplankton to the total phytoplankton production corresponding to picor-, nanor- and micro- algae was 12.4%, 60.8% and 27.8%, respectively. Nanor-algae are important producers in rotifer culturing ponds ecosystems.

Key words: size-fractionated phytoplankton; algal picoplankton; chlorophyll-a; primary production; rotifer culturing pond; ecosystem

研究不同粒级浮游植物的作用对理解水域生态系统的食物链动态是必要的^[1]。特别是超微藻类[algal picoplankton, APP]在水体中的数量、生物量和生产力大小可作为水域生态系统的一项重要指标。自上世纪70年代以来,超微浮游生物(picoplankton)的发现导致了对水域生态系统群落结构认识上的一场革命,成为近几十年来水域生态学家和生物学家研究热点之一^[2-8]。海洋、淡水超微藻研究的报道主要来自欧洲、北美、新西兰和日本,国内刚刚开展这方面的研究,有关报导逐渐增多^[9-11]。一般的结论是超微藻类占海洋初级生产力的1%~90%,而在淡水环境中此比例为16%~70%^[12]。近年来,土池大量培育褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)用于河蟹生态育苗生产较为普遍,因此,研究这类池塘生态系统的结构与功能具有理论和实践意义。本文的目的是研究两种养殖模式下的轮虫培育池及饵料培养池中超微藻类的变化特点,旨在深入了解生态系统的结构和功能,为进一步提高土池轮虫的持续高产、提高生态育苗效果提供科学依据。

1 材料和方法

试验在盘锦光合水产有限公司三角洲基地进行,试验池塘为1个流水轮虫培育池(14[#]池)、1个静水轮虫培育池(15[#]池)以及1个半循环水轮虫饵料培养池(11[#]池)。每个池塘的面积为0.33hm²,水深1m左右,底质均为腐泥。其中5月5日在15[#]静水轮虫池接种轮虫125kg,14[#]流水轮虫池施鸡粪1t。

1.1 水样采集处理

在2001年5月3日至2001年5月23日每隔4~6d采集水样一次。取池塘四角的池水加以混合,分别用200μm筛绢、20μm、2μm、0.45μm、0.2μm滤膜过滤,其中200μm、20μm、2μm、0.2

μm滤液保留作初级生产力的测定;20μm、2μm、0.45μm、0.2μm滤膜保留测定叶绿素。取20μm过滤水样90mL,用25%戊二醛固定,使其最终浓度为2.5%~3.0%,用作超微藻类表面荧光计数。水样均保存于4℃的冰箱中。按规范法测定水的理化指标。

1.2 浮游生物测定

取采得的混合水样50mL,用1.5%鲁哥氏液固定,由于水样浮游植物量较大,可不用浓缩直接镜检计数;小型浮游动物用水样500mL加1.5%鲁哥氏液固定后静置24h浓缩计数。大型浮游动物用25[#]浮游生物网过滤16L水,用5%福尔马林固定,全部计数。按体积法计算生物量。

1.3 叶绿素测定

用95%丙酮做萃取液的分光光度计法^[13]测定>20μm、>2μm、>0.45μm和>0.2μm4个粒级水样的叶绿素含量。

1.4 初级生产力测定

将<200μm、<20μm、<2μm和<0.2μm滤液充分曝气,然后按顺序装黑白瓶,同时固定1瓶初始溶氧,于10:00-14:00曝光培养4h,按挂瓶顺序依次固定。溶氧用Winkler法(碘量法)测定。

1.5 超微藻类密度测定

超微藻类密度采用表面荧光显微计数法测定。将用2.5%戊二醛固定的水样经0.2μm孔径滤膜过滤,取载有藻类的滤膜,切割为二,使滤有超微藻类的面朝上,置于经洗涤、煮洗并用酒精浸泡的载玻片上,加1滴无荧光油于膜上,盖上盖玻片,使无荧光油浸透整个玻片,计数前,再在盖玻片上滴加无荧光油1滴,根据细胞的多少确定计数视野,通常为10~50个视野。计数结果用下面公式计算:

$$N = be / (acd)$$

其中, N 为每 mL 原水样中超微藻的数量(ind ·

mL^{-1}); a 为水样用量; b 为滤膜有效面积 ($\times 10^8 \mu\text{m}^2$); c 为物镜视野面积 (μm^2); d 为每样品计数视野 (10~50 个); e 为 10~50 视野的细胞数。

2 结果

2.1 实验池塘的理化特征

试验期间水温为 13.4~20.0, 透明

度为 19~55 cm, pH 值为 8.7~9.99。实验期间 14[#]、11[#] 和 15[#] 3 个试验池的 COD 平均值分别为 20.81、18.99 和 26.50 mg L^{-1} 。NH₄-N 平均值分别为 0.811、2.160 和 1.894 mg L^{-1} ; PO₄-P 平均值依次为 0.064、0.031 和 0.108 mg L^{-1} (表 1)。

表 1 实验池塘的基本情况

Tab.1 The basic situation of experimental ponds

项目 item	轮虫培育池 rotifer culturing ponds		
	14 [#]	11 [#]	15 [#]
水温 (°C) water temperature	15.10 ±2.10	16.00 ±2.00	16.40 ±2.60
溶解氧 DO(mg L^{-1})	9.08 ±2.57	8.60 ±1.27	7.40 ±2.38
pH	9.24 ±0.48	9.05 ±0.12	9.06 ±0.24
透明度(cm) transparency	30.80 ±10.80	31.00 ±3.00	36.00 ±10.80
化学耗氧量 COD(mg L^{-1})	20.81 ±7.09	18.99 ±5.36	26.50 ±8.10
NH ₄ -N (mg L^{-1})	0.81 ±0.580	2.16 ±0.878	1.89 ±2.030
NO ₃ -N (mg L^{-1})	0.149 ±0.107	0.637 ±0.156	0.288 ±0.114
NO ₂ -N (mg L^{-1})	0.032 ±0.028	0.043 ±0.006	0.032 ±0.017
PO ₄ -P (mg L^{-1})	0.064 ±0.028	0.031 ±0.026	0.108 ±0.111

2.2 叶绿素含量测定结果

不同粒级浮游植物叶绿素含量测定结果见表 2。从表 2 可见, 14[#] 池中 20~200 μm 、2~20 μm 、0.45~2 μm 和 0.2~0.45 μm 的叶绿素含量占总叶绿素含量的 19%、68%、10% 和 3%, 即超微藻类叶绿素占总叶绿素含量的 13%。11[#] 池中 20~200 μm 、2~20 μm 、0.45~2 μm 和 0.2~0.45 μm 的叶绿素含量占总叶绿素含量的 70%、24%、4% 和 2%, 即超微藻类叶绿素占总叶绿素含量的 6%。15[#] 池中 20~200 μm 、2~20 μm 、0.45~2 μm 和 0.2~0.45 μm 的叶绿素含量占总叶绿素含量的 46%、39%、12% 和 3%, 既超微藻类叶绿素占总叶绿素含量的 15%。

2.3 初级生产力测定结果

不同粒级浮游植物初级生产力测定结果见表 3。14[#]、11[#] 和 15[#] 3 个试验池超微藻

类的初级生产力分别占其总初级生产力的 20%、15% 和 28.5%。由于 5 月 23 日测定时天气突然转阴, 所以测定值很小, 同时, 看出超微藻类在阴天时产氧能力较低下。

2.4 浮游生物密度和生物量测定结果

浮游植物和浮游动物密度和生物量测定结果见表 4。浮游植物主要种类有小球藻 (*Chlorella* sp.)、四球藻 (*Westella* sp.)、衣藻 (*Chlamydomonas* sp.)、单鞭金藻 (*Chloromulina* sp.) 和微绿球藻 (*Nannochloropsis oculata*) 等。浮游动物主要是纤毛虫原生动物和褶皱臂尾轮虫。14[#] 池在 5 月 13 日抽水 4h, 滤取轮虫 125kg 后又注入新水。因此轮虫密度急剧下降。由于实验池为生产性水体, 藻类密度较大, 并且实验期间施肥, 如 11[#] 池施无机肥——碳酸氢铵, 14[#] 和 15[#] 池施有机肥——鸡粪, 所以浮游生物量的变化较大

表 2 不同粒级浮游植物叶绿素 a 含量和叶绿素总量
 Tab. 2 The concentrations of chlorophyll-a and total chlorophyll of
 size fractionated phytoplankton in rotifer culturing ponds

池塘 ponds	项目 items	采样日期 date of sampling					均值 average
		3 - 5	7 - 9	13 - 15	17 - 19	21 - 23	
14 #	20 μ m Chl-a	4.56	7.14	1.82	6.89	3.99	4.88
	Chl- (a + b + c)	6.10	8.11	2.23	8.44	5.27	6.03
	2 μ m Chl-a	125.70	14.78	1.40	6.61	2.05	30.11
	Chl- (a + b + c)	544.95	15.87	6.58	24.11	6.23	119.55
	0.45 μ m Chl - a	0.46	0.44	0.20	1.29	0.34	0.55
	Chl- (a + b + c)	0.53	0.86	0.77	3.26	2.88	1.66
	0.2 μ m Chl-a	0.18	0.44	0.75	0.28	2.25	0.78
	Chl- (a + b + c)	1.11	0.86	4.86	3.36	7.92	3.62
	Chl-a	130.9	22.8	4.17	15.07	8.63	36.32
	Chl- (a + b + c)	552.7	25.7	14.44	39.17	22.3	130.86
11 #	20 μ m Chl-a	52.17	77.22	48.43	140.95	170.65	97.8
	Chl- (a + b + c)	74.07	110.47	70.05	183.22	247.72	137.11
	2 μ m Chl-a	12.49	17.00	13.72	15.04	40.57	19.76
	Chl- (a + b + c)	37.45	30.53	49.92	23.26	62.96	40.82
	0.45 μ m Chl-a	1.80	-	2.97	1.47	5.66	2.97
	Chl- (a + b + c)	40.15	-	15.29	4.27	9.76	17.37
	0.2 μ m Chl-a	7.19	1.71	0.82	1.79	1.51	2.60
	Chl- (a + b + c)	27.36	3.26	2.20	4.25	8.84	9.18
	Chl-a	73.65	95.73	65.94	159.25	218.39	123.22
	Chl- (a + b + c)	179.03	144.26	137.46	215.0	329.28	204.48
15 #	20 μ m Chl-a	19.77	104.92	357.59	101.40	4.57	117.65
	Chl- (a + b + c)	26.94	146.73	511.73	155.02	6.92	169.47
	2 μ m Chl-a	2.67	43.84	29.04	100.72	3.23	35.90
	Chl- (a + b + c)	4.60	59.14	37.10	141.51	15.46	51.56
	0.45 μ m Chl-a	1.09	1.97	17.45	7.15	1.25	5.78
	Chl- (a + b + c)	5.77	4.66	87.12	11.61	8.82	23.59
	0.2 μ m Chl-a	1.33	0.92	4.04	1.03	1.51	1.76
	Chl- (a + b + c)	8.27	1.12	17.57	2.75	8.84	7.71
	Chl-a	24.86	151.65	408.12	210.30	10.56	161.10
	Chl- (a + b + c)	45.58	211.65	653.52	310.89	40.04	252.33

表 3 不同粒级浮游植物的初级生产力

Tab. 3 The primary production of size fractionated phytoplankton

$\text{g C L}^{-1} \text{d}^{-1}$

池塘 ponds	测定日期 date	浮游植物粒级(μm)			
		< 200	< 20	< 2	< 0.2
14 #	05-07	0.0078	0.0063	0.0009	0.0001
	05-13	0.0082	0.0065	0.0011	0
	05-21	0.0075	0.0059	0.0012	0
11 #	05-8	0.0102	0.0089	0.0008	0
	05-22	0.0163	0.0136	0.0015	0.001
15 #	05-05	0.0045	0.0032	0.0007	0.001
	05-19	0.0161	0.0116	0.0019	0
	05-23	0.0021	0.0016	0	0

表 4 轮虫培育池浮游生物的密度和生物量

Tab.4 The density and biomass of plankton in rotifer culturing ponds

池塘 ponds	浮游植物 phytoplankton		浮游动物 zooplankton	
	密度(10^8ind L^{-1}) density	生物量(mg L^{-1}) biomass	密度(10^4ind L^{-1}) density	生物量(mg L^{-1}) biomass
14 [#]	8.33 \pm 6.82	59.73 \pm 49.31	3.51 \pm 4.39	9.77 \pm 6.03
11 [#]	3.83 \pm 0.84	50.28 \pm 21.66		
15 [#]	4.53 \pm 1.13	115.0 \pm 53.95	4.10 \pm 5.34	3.09 \pm 3.88

2.5 超微藻类密度和生物量

试验池的超微藻类密度和生物量测定结果见表 5。14[#]、11[#]和 15[#]池中超微藻类的密度依次为 $(3.46 \pm 1.14) \times 10^8 \text{ind} \cdot \text{L}^{-1}$ 、

$(3.43 \pm 1.05) \times 10^8 \text{ind L}^{-1}$ 和 $(2.43 \pm 0.68) \times 10^8 \text{ind L}^{-1}$ 。而超微藻类的生物量依次为 6.05、6.00 和 4.24mg L^{-1} 。

表 5 轮虫培育池超微藻类的密度和生物量

Tab.5 The density and biomass of pico-phytoplankton in experimental ponds

日期 date	14 [#]		11 [#]		15 [#]	
	密度(10^8ind L^{-1}) density	生物量(mg L^{-1}) biomass	密度(10^8ind L^{-1}) density	生物量(mg L^{-1}) biomass	密度(10^8ind L^{-1}) density	生物量(mg L^{-1}) Biomass
3 - 5	4.24	7.41	2.81	4.91	1.78	3.11
7 - 9	3.61	6.31	2.45	4.29	3.13	5.47
13 - 15	2.18	3.82			2.57	4.49
17 - 19	2.78	4.87	3.89	6.81	2.23	3.9
21 - 23	4.47	7.83	4.56	7.98		
平均 average	3.46	6.05	3.43	6.00	2.43	4.24

2.6 超微藻类与 COD 的关系

从图 1,2,3 可见,各池超微藻类密度变化趋势与 COD 变化基本一致。

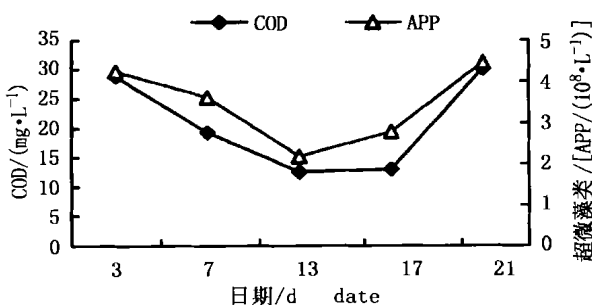
图 1 14[#]池 COD 和超微藻类的密度变化

Fig.1 The dynamics of the APP density and COD in Pond No. 14

3 讨论

一般将 $0.2 \sim 2 \mu\text{m}$ 、 $2 \sim 20 \mu\text{m}$ 和 $20 \sim 200 \mu\text{m}$ 的浮游生物分别称为超微型 (pico-)、微型 (nano-) 和小型 (micro-) 浮游生物。本试验超微藻类属超微型浮游生物。14[#]池超微藻

类、微型藻类和小型藻类的叶绿素 a 含量分别占总叶绿素 a 含量的 3.7%、82.9% 和 13.4%。各粒级浮游植物初级生产力分别占总生产力的 13.6%、66% 和 20.4%。11[#]池中超微藻类、微型藻类和小型藻类的叶绿素 a 含量分别占总叶绿素 a 含量的 4.5%、16.1% 和 79.4% (表 6)。

各粒级浮游植物初级生产力分别占总生产力的 9.0%、78.9% 和 12.1%。15[#]池超微藻类、微型藻类和小型藻类的叶绿素 a 含量分别占总叶绿素 a 含量的 4.7%、22.3% 和 73.0%。各粒级浮游植物初级生产力分别占总生产力的 12.4%、60.8% 和 27.8%。由此,从 3 个池塘中可以看出一个共同规律,即水体中的初级生产力主要是由微型藻类提供,占总量的 60.8%~78.9%;但其叶绿素含量只占总量的 20% (但 14[#]池为 91.4%,主要是小球藻占优势),可以说在轮虫土地培育中微型藻类是主要生产者。

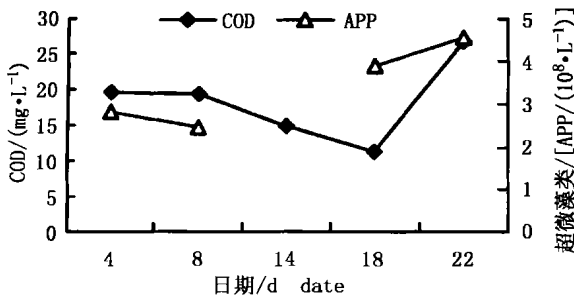


图 2 11# 池 COD 和超微藻类的密度变化

Fig. 2 Dynamics of APP density and COD in Pond No. 11

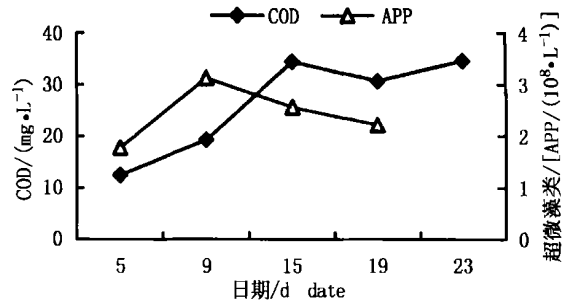


图 3 15# 池 COD 和超微藻类的密度变化

Fig. 3 Dynamics of the APP density and COD in Pond No. 15

表 6 不同粒级浮游植物叶绿素 a 含量和初级生产力的比较

Tab. 6 Comparison of chlorophyll-a concentration and primary production in size fractionated phytoplankton

池塘 ponds	项目 item	总量 total content	小型浮游植物 micro-		微型浮游植物 nano-		超微浮游植物 pico-	
			含量($\mu\text{g L}^{-1}$) content	百分比(%) percent	含量($\mu\text{g L}^{-1}$) content	百分比(%) percent	含量($\mu\text{g L}^{-1}$) content	百分比(%) percent
14#	叶绿素 a ($\mu\text{g L}^{-1}$) chlorophyll-a	36.32	4.88	13.4	30.11	82.9	1.43	3.7
	叶绿素量 ($\mu\text{g L}^{-1}$) chlorophyll contents	130.86	6.03	4.6	119.6	91.4	5.28	4.0
	初级生产力 ($\text{gC L}^{-1} \text{d}^{-1}$) primary production	0.0078	0.0016	20.4	0.0052	66	0.0011	13.6
11#	叶绿素 a ($\mu\text{g L}^{-1}$) chlorophyll-a	123.22	97.89	79.4	19.76	16.1	5.57	4.5
	叶绿素量 ($\mu\text{g L}^{-1}$) chlorophyll contents	204.48	137.11	67.0	40.82	20.0	26.55	13.0
	初级生产力 ($\text{gC L}^{-1} \text{d}^{-1}$) Primary production	0.0133	0.0016	12.1	0.0105	78.9	0.0012	9.0
15#	叶绿素 a ($\mu\text{g L}^{-1}$) chlorophyll-a	161.10	117.65	73.0	35.90	22.3	7.54	4.7
	叶绿素量 ($\mu\text{g L}^{-1}$) chlorophyll contents	252.33	169.47	67.2	51.56	20.4	31.30	12.4
	初级生产力 ($\text{gC L}^{-1} \text{d}^{-1}$) primary production	0.0076	0.0021	27.8	0.0046	60.8	0.0009	11.4

在富营养化水体(如养鱼池、养虾池、人工湖泊等)中,超微藻类的地位有所下降,本实验 14# 池、11# 池和 15# 池中超微藻类叶绿素 a 含量和产量分别占其各自总量的 3.7%、13.6%、4.5% 和 9.0%、4.7% 和 11.4%。可见,在超微藻类对初级生产力的贡献上,流水的 14# 池略大于静水的 15# 池。显然,高度富营养化和放养高密度滤食性轮虫的池塘中超微藻类对浮游植物生物量和生产量的贡献相对较低,微型藻类(2~20 μm)占优势。超微浮游植物的叶绿素 a 含量为 1.43~7.54 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。这与

Lafond 等^[5]、刘国才^[9]和赵文等^[11]的结果是一致的。

浮游生物大小与水体营养状况和浮游生物食性鱼类的放养密度密切相关,一般认为,随着水体富营养化的加剧,浮游生物趋于小型化。对浮游植物而言,一方面浮游生物食性鱼类摄食较大型的浮游植物,如鱼腥藻、微囊藻水华和主食小型藻类的浮游动物,这样滤食性鱼类通过除去小型、微型和超微型藻类的营养竞争者和捕食者,而使小型藻类增加;另一方面,随着水体的富营养化,水中的营养盐大量积累,使吸收速率高、生长周转快

的小型藻类占优势。因此,超微藻类在水体中的数量、生物量和生产力的大小可作为水域生态系统的一项重要指标。近二十年来,关于海洋、湖泊中光合超微藻类的分布、组成和食物网动态的研究业已证明,超微藻类(0.2~2 μm)对水生态系统浮游植物生物量和初级生产力具有重要贡献^[2]。Lafond 等^[5]对加拿大希尔德湖区的研究表明,<10 μm 的各种大小的藻类在生物量和生产量上最为重要,分别占其各自总量的41%~65%和23%~69%。Stockner 和 Antia^[8]的初步研究表明,在营养物含量过剩的水域中,超微藻类的丰度降低,很多超微藻类具有吸收速率极快和独立于细胞域值之外的维持高效吸收能力。这样就使超微藻类在营养物贫乏水域中和营养物间歇供给的水域如海洋的上升流区域具有竞争优势^[14]。与此相反,在匈牙利的富营养湖和超富营养湖观察到超微藻类密度很高,但超微藻类对浮游植物生物量和生产量的贡献相对较低^[15];美国佛罗里达的超富营养湖(Lake Apopka)超微藻类(主要是蓝藻)的细胞密度通常超过 $10^7 \text{ind} \cdot \text{mL}^{-1}$,<5 μm 浮游植物的叶绿素 a 含量和超微藻类生产量分别占浮游植物总量的30%^[2]。我国超富营养化的武汉东湖的超微藻类密度高达 $10^8 \text{ind} \cdot \text{mL}^{-1}$,超微藻类的生产量、叶绿素 a 分别占各自总量的1.0%~90.4%、2.2%~90.0%^[16]。Stockner 和 Antia^[8]认为,超微藻类叶绿素 a 的含量占总叶绿素 a 含量的6.0%~43.0%;而 Fahnenstiel 等^[17]认为湖泊生态系统近一半的初级生产力源于超微型浮游生物;海洋自养生产大部分源于小于1 μm 的超微藻类^[18]。本实验中,超微藻类细胞密度在 $1.78 \sim 4.45 \times 10^8 \text{ind} \cdot \text{L}^{-1}$,COD 高且营养盐($\text{PO}_4 - \text{P}$)含量较高的15#池的超微藻类密度和生物量比COD 较低、营养盐含量较低的14#池的低(表1,表5)。

轮虫培育池是一类特殊类型的生态系统,消费者以褶皱臂尾轮虫为主,群落结构简单,生境易变,这些都会影响水层浮游植物含量的较大波动和构成的改变。两种模式轮虫培育池中不同粒级浮游植物对初级生产力的贡献相近。流水轮虫池的轮虫生物量高于静水轮虫池,而浮游植物密度、生物量正好是流水轮虫池明显低于静水轮虫池。而以褶皱臂尾轮虫为主的浮游动物与浮游植物生物量呈负相关关系,这与褶皱臂尾轮虫摄食浮游植物相关联。轮虫饵料培养池中并没有褶皱臂尾轮

虫等浮游动物,但其浮游植物生物量均低于两种模式的轮虫培育池,其原因是轮虫池有轮虫运动和摄食活动,加速了水的物质循环和能量流动,因而,浮游植物量都比轮虫饵料培养池的高些,另外,轮虫饵料培养池中的有效磷含量较低且N/P比高对浮游植物有限制作用,这也是轮虫饵料培养池中浮游植物生物量低于其他两轮虫池的原因。此外,与池塘的管理有关系。即使是静水轮虫池,在抽取轮虫投喂河蟹苗后也要补水,因此,从方便实用的角度出发,生产上使用静水轮虫池培育轮虫就可以了。褶皱臂尾轮虫的适宜的饵料大小是1~20 μm ,因此,轮虫也摄食一部分超微藻类。另一方面,超微藻类产氧在轮虫培育池中只起次要地位,超微藻类所产生的氧不足以提供超微藻类的呼吸需要。综上所述,本实验轮虫培育池生态系统超微藻类对浮游植物生物量和生产量的贡献相对较低,是池塘营养盐含量、比例及浮游生物组成特点决定的。

参考文献:

- [1] Sieburth J M, Davis P G. The role of heterotrophic nanoplankton in the grazing and nurturing of the planktonic bacteria in the Sargasso and Caribbean Sea[J]. *Ann Inst Oceanogr*, 1982, 58, 285 - 296.
- [2] Carrick H J, Schelske C L. Have we overlooked the importance of small phytoplankton in productive waters [J]. *Limnol Oceanogr*, 1997, 42(7): 1613 - 1621.
- [3] Caroppo C. The contribution of picophytoplankton to community structure in a Mediterranean brackish environment[J]. *J Plankton Res*, 2000, 22(2): 381 - 397.
- [4] Hessen D O, Andersen T, Lyche A. Carbon metabolism in a humic lake: pool sizes and cycling through zooplankton [J]. *Limnol Oceanogr*, 1990, 35(1): 84 - 89.
- [5] Lafond M, Pinel-alloul B, Ross P. Biomass and photosynthesis of size-fractionated phytoplankton in Canadian Shield lakes [J]. *Hydrobiologia*, 1990, 196(10): 25 - 38.
- [6] Paerl H W, Mackenzie L A. A comparative study of the diurnal carbon fixation patterns of nanoplankton and netplankton [J]. *Limnol Oceanogr*, 1977, 22: 737 - 738.
- [7] Steitz A, Velimirov B. Contribution of picocyanobacteria to total primary production and community respiratory losses in a backwater system [J]. *J Plankton Res*, 1999, 21(12): 2341 - 2360.
- [8] Stockner J G, Antia N J. Algal picoplankton from marine and freshwater ecosystems: a multidisciplinary perspective [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1986, 43: 2472 - 2503.
- [9] Liu G C. Metabolism and budget of organic carbon and

- numerical dynamics and productivity of bacteria in shrimp polyculture enclosure ecosystems [D]. Doctoral Thesis, Ocean University of Qingdao, 1998. [刘国才. 对虾池综合养虾生态系统有机碳的代谢与平衡以及细菌的数量动态与生产力的研究[D]. 青岛海洋大学博士论文, 1998.]
- [10] Zhu X B, Shi Z F. Ecological studies of chinese fish ponds [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technological Press, 1995. 91 - 102. [朱学宝, 施正峰. 中国鱼池生态学研究[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1995. 91 - 102.]
- [11] Zhao W, Xing H, An L H. The contribution of algal picoplankton to phytoplankton biomasses and primary production in freshwater bodies in Dalian[J]. J Dalian Fish Univ, 2001, 16 (3) :163 - 167. [赵文, 邢辉, 安立会. 不同粒级浮游植物对淡水初级生产力的作用[J]. 大连水产学院学报, 2001, 16(3) :163 - 167.]
- [12] Stockner J G. Phototrophic picoplankton: an overview from marine and freshwater ecosystems[J]. Limnol Oceanogr, 1988, 33, 765 - 775.
- [13] Zhao W, Dong S L, Dai Y D, *et al.* Study on chlorophyll-a of phytoplankton in saline-alkaline ponds with chloride water type [J]. J Lake Sciences, 2000, 8(3) : 247 - 254. [赵文, 董双林, 戴昀娣, 等. 氯化物水型盐碱池塘浮游植物叶绿素 a 的研究[J]. 湖泊科学, 2000, 8(3) :247 - 54.]
- [14] Stockner J G. Autotrophic picoplankton in freshwater ecosystems: the view from the summit [J]. Int Rev Gesamten Hydrobiol, 1991, 76:483 - 492.
- [15] Voros L, Gulas P, Nemeth J. Occurrence, dynamics and production of picoplankton in Hungarian shallow lakes [J]. Int Rev Gesamten Hydrobiol, 1991, 76:617 - 629.
- [16] Wang J, Lin W L. Ecological approaches of algal picoplankton in Donghu Lake, Wuhan [J]. J Lake Sciences, 1998, 10(4) : 71 - 76. [王建, 林婉莲. 武汉东湖超微藻生态学的初步研究[J]. 湖泊科学, 1998, 10(4) :71 - 76.]
- [17] Fahnenstiel G L, Sicko-goad L, Scavia D, *et al.* Importance of picoplankton in Lake Superior [J]. Can J Fish Aquatic Sci, 1986, 43: 235 - 240.
- [18] Li W K W. Autotrophic picoplankton in trophic ocean [J]. Science (Wash, D C), 1983, 219:292 - 295.