

褶皱臂尾轮虫室外培育池浮游 生物的初步研究*

李晓东 吴辉良 张清靖 李永函

(大连水产学院)

室外轮虫培育池(简称轮虫池,下同)和养鱼池同是一种人工生态系统。轮虫池具有外来有机质特别丰富、生物生产力极高和食物链短的特点,并不受鱼类下行效应的影响。研究轮虫池的浮游生物,不但有助于提高轮虫池的生产力,而且对探讨水域生态系功能也有一定的理论意义。近年来,利用土池大量培育轮虫正逐步开展(Li Yonghan, 1996; 李永函等, 1993, 1997; 赵沟等, 1993), 但多侧重于培养方法和生产应用, 对培育池浮游生物状况的资料甚少。本文作者对辽河三角洲河蟹养殖有限公司的若干培育池的浮游生物种类、数量及其分布进行了测定, 以期为土池轮虫的持续高产提供生物学依据。

一、材料与方方法

1. 池塘条件

主要实验池条件如表 1。实验期间一般 DO(溶解氧) > 3mg/L, 仅个别池塘 DO < 0.5mg/L; pH 8.20~9.90; 各池水温 9~20℃。由于水浅, 又正值春季全同温, 故表底层水温、DO、pH 相差不大。

表 1 实验池基本条件

	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	小 3 [#]	小 6 [#]
面积(m ²)	3600	5000	5000	4000	4000	3500	550	550
水深(m)	1.2	1.3	1.1	1.2	1.3	1.5	1.3	1.6
休眠卵(10 ⁴ /m ²)	836	570	170	80	35	670	0	0
盐度	19.81	19.74	18.38	17.73	21.11	24.11	18.20	18.64
底质	腐泥	腐泥	腐泥	泥沙	泥沙	腐泥	泥沙	泥沙

* 收稿日期: 2000 年 12 月 25 日。

2. 实验方法

对全部实验池进行清塘,搅动底泥,施无机肥(碳酸氢氨)75~105kg/hm²,待轮虫发生后再施鸡粪,施肥量为1500kg/hm²。桡足类大量发生后用1.2~1.5mg/L敌百虫杀灭。在轮虫数量大于10⁴个/L时用150目筛绢网抽滤。

各池每三天早晨5:00~6:00采集浮游生物一次,按《内陆水域渔业自然资源调查手册》(张觉民等,1991)进行处理和数量测定,并参照手册中给出的个体均重换成生物量,对缺少的优势种按实测体积计算。浮游生物分布一般于上午测定。

因轮虫大量发生,使水质变化前后极大,故浮游植物数据统计分轮虫高峰前期和高峰期(轮虫密度达10⁴个/L)进行。在轮虫高峰期部分池塘实行半循环交换水体(排老水注富含浮游植物的新水),多数池塘基本不排水,前者称半循环水池,后者称静水池。多样性指数按Lloyd等(刘建康等,1990)简化后的Shannon-Wiever公式计算

$$H' = \frac{C}{N} (N \lg N - \sum n_i \lg n_i)$$

式中 $C = 3.322$ 称为转化系数; N ,藻类总个体数; n_i ,第*i*属的藻类个数。

鉴于浮游生物的分布受风浪和水深影响较大,故测水平分布时按上、下风位,垂直分布时按表(离水面10cm)、底(离底15cm)层采样。在进行分布测定时,因故未对3[#]、4[#]、5[#]和小3[#]采样,而增补了7[#]和8[#]两池。

3. 实验时间

2000年4月10日~6月1日。

二、结 果

1. 浮游生物种类

(1)浮游植物种类组成和生物量 8个轮虫池共观测到浮游植物近30属,比较常见或形成优势者有小球藻(*Chlorella* sp.)、四球藻(*Westella* sp.)、衣藻(*Chlamydomonas* sp.)、扁藻(*Platymonas* sp.)、隐藻(*Cryptomonas* sp.)、蓝隐藻(*Chroomonas* sp.)、单鞭金藻(*Chromulina* sp.)、角毛藻(*Chaetocer* sp.)、绿裸藻(*Euglena viridis*)、曲舟藻(*Pleurosigma* sp.)、小环藻(*Cyclotella* sp.)、舟形藻(*Navicula* sp.)、菱形藻(*Nitzschia* sp.)、光甲藻(*Clenodinium* sp.)、原甲藻(*Prorocentrum micans*)等10多属。浮游植物生物量在不同时期和不同水体有较大的差异(图1)。前期浮游植物总生物量平均为116.8 mg/L,以绿藻门为主,生物量为65.0 mg/L,占总量的55.7%;后期半循环水池浮游植物总量为77.4mg/L,隐藻、硅藻两门占总量的56.9%;静水池浮游植物总量为55.6mg/L,裸藻门为主,生物量为34.4 mg/L,占总量的61.9%。

(2)浮游动物种类组成和生物量 轮虫池出现的原生动物主要是纤毛虫类,包括游仆虫(*Euplotes* sp.)、栉毛虫(*Didinium* sp.)、钟形虫(*Vorticella* sp.)、榴弹虫(*Coieps* sp.)、狭盗虫(*Strobilidium* sp.)等属。数量较多,但生物量不大。

轮虫类以褶皱臂尾轮虫为优势种,部分池中发现少量疣毛轮虫(*Synchaeta* sp.)。在半循环水池和静水池中轮虫的生物量分别为85.7 mg/L和57.3 mg/L,均占浮游动物总

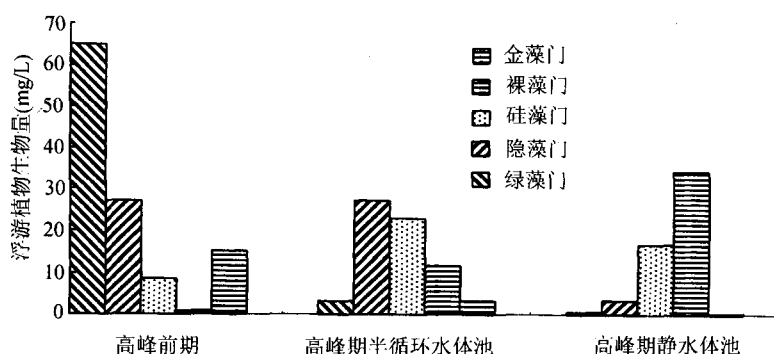


图1 各门浮游植物的生物量

生物量的85%左右。

桡足类共发现细巧华哲水蚤 (*Sinocalanus tenellus*), 中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*), 球状许水蚤 (*Schmackeria forbes*), 咸水剑水蚤 (*Halicyclops* sp.) 和伪镖水蚤 (*Eurytemora affinis*) 等五属(种), 主要是伪镖水蚤, 其次是华哲水蚤和剑水蚤。在半循环水池和静水池中桡足类的生物量分别为 7.8 mg/L 和 2.4 mg/L, 各占浮游动物总量的 7.8% 和 3.6%。由于用药杀灭, 轮虫高峰期桡足类数量不多(图2)。

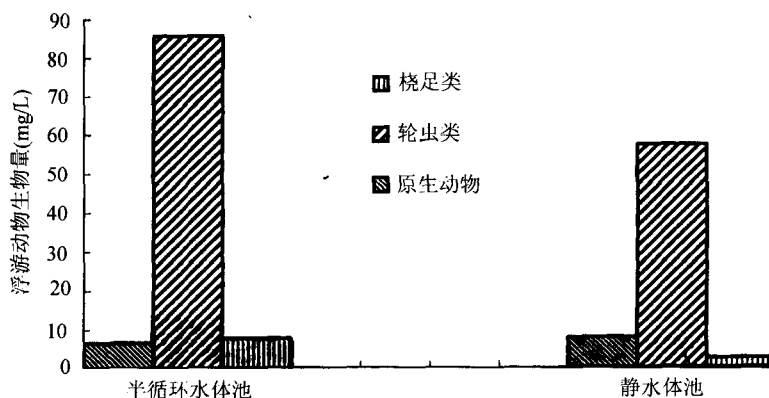


图2 高峰期各类浮游动物的生物量

(3)多样性指数 浮游植物多样性指数在轮虫高峰前期为 2.53, 轮虫高峰期由于水体不同多样性指数有差异, 半循环水池为 2.88, 静水池为 3.07。浮游动物多样性指数在半循环水池中为 0.56, 静水池中为 0.38。

2. 浮游生物的分布

浮游生物分为时间分布与空间分布两种。

(1) 浮游生物的时间分布

① 浮游植物的时间分布 浮游植物在轮虫池整个生产期内呈“U”型变化, 最大值是最小值的 11 倍(图3)。

② 轮虫的时间分布 轮虫的变化基本符合逻辑斯蒂曲线, 只是平衡期波动较大, 半

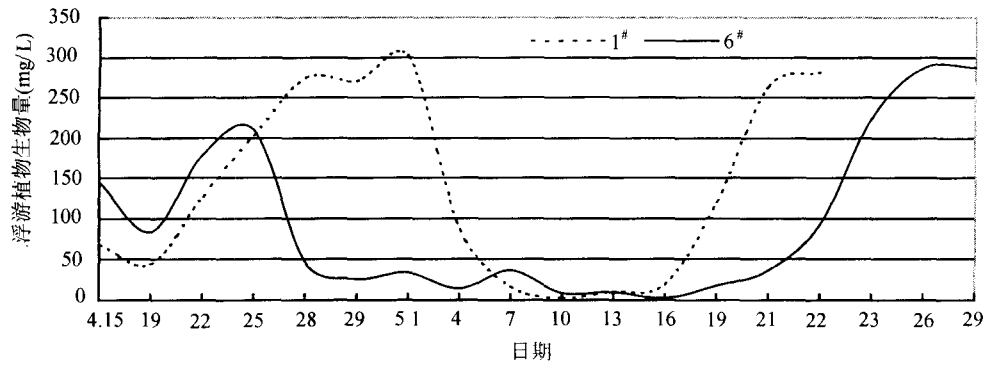


图3 浮游植物量随时间的变化

循环水池(6#)比静水池(1#)高峰期持续时间更长(图4)。

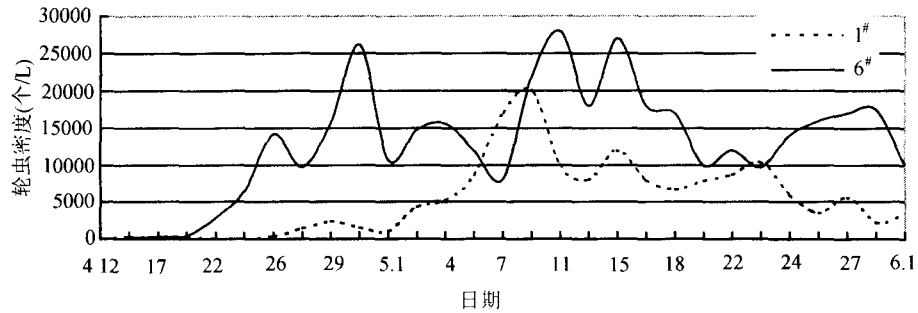


图4 轮虫生物量随时间的变化

(2) 浮游生物的空间分布

① 浮游植物的水平分布 以鞭毛藻为主的1#、2#、6#、小6#四个池中以裸藻占优势,上、下风位鞭毛藻分别为22.4 mg/L,17.59 mg/L,没有显著差异。金藻等其他鞭毛藻占优势的7#、8#两池上、下风位分别为21.76 mg/L,58.27 mg/L,差别明显。非鞭毛藻占优势的6#池,上、下风位差异不大。从各池非鞭毛藻的平均值来看,上、下风位无明显差异(图5)。

② 浮游植物的垂直分布 裸藻占优势的各池(1#、2#、6#、小6#)的浮游植物生物量底层明显高于表层,而以金藻为主的图7#、8#两池则表层>底层。各池非鞭毛藻表层、层差别不大(图6)。

③ 轮虫的水平分布 一般情况($DO > 3$ mg/L)下,遇风浪时轮虫生物量的水平分布是上风位>中段位>下风位(表2),上、下风位相差约1/3;没有风浪时,上、下风位差异不大;缺氧条件下,下风位明显大于上风位,差值可达5倍以上(表2)。

④ 轮虫的垂直分布 从表2还可见,一般情况下,轮虫生物量底层 $\geq$ 表层,在缺氧条件下则表层>底层。

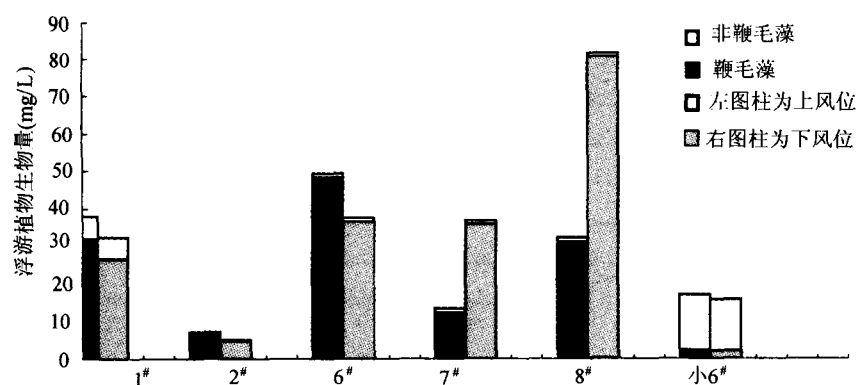


图 5 浮游植物的水平分布

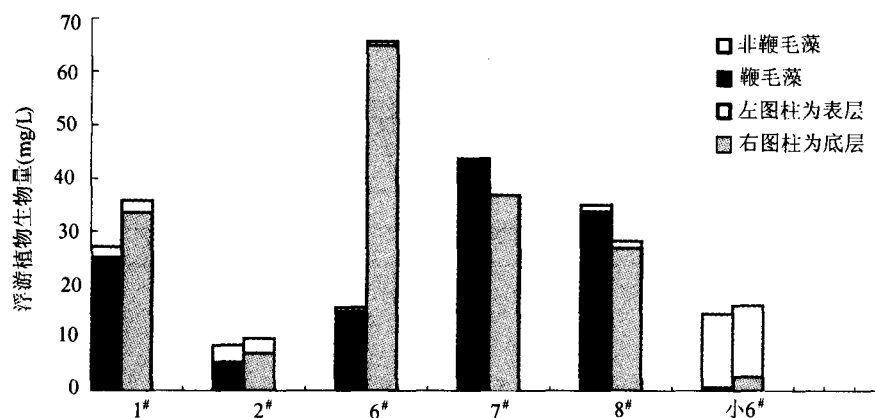


图 6 浮游植物的垂直分布

表 2 轮虫在池中的分布

池号	时间	上风位 (mg/L)			中段位 (mg/L)			下风位 (mg/L)			备注
		表层	底层	平均	表层	底层	平均	表层	底层	平均	
1	5.10	1.20	2.35	1.78	1.42	1.38	1.40	1.04	1.10	1.07	有风浪
2	5.10	0.65	1.14	0.90	0.74	0.66	0.70	0.46	0.79	0.63	有风浪
6	5.10	1.25	5.95	3.60	2.29	2.34	2.32	2.28	1.86	2.07	有风浪
平均		1.03	3.15	2.09	1.48	1.46	1.47	1.26	1.25	1.26	
1	5.22	6.65	1.19	0.92	1.24	1.11	1.18	1.06	0.87	0.97	无风浪
6	5.22	1.25	1.31	1.28	0.34	0.50	0.42	0.83	1.75	1.29	无风浪
平均		0.95	1.25	1.10	0.79	0.81	0.80	0.95	1.31	1.13	
0	5.20	2.40	2.00	2.10	10.00	7.40	8.70	15.80	15.30	15.50	缺氧
1	5.25	1.30	0.83	1.07	2.10	1.08	1.59	3.00	1.90	2.45	缺氧
平均		1.85	1.42	1.58	6.05	4.24	5.15	9.40	8.60	8.98	

⑤ 桡足类的水平分布 除 2[#] 池外,桡足类数量分布是上风位 > 下风位 > 中段位(图 7)。

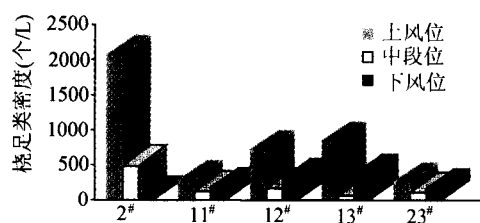


图 7 桡足类的水平分布

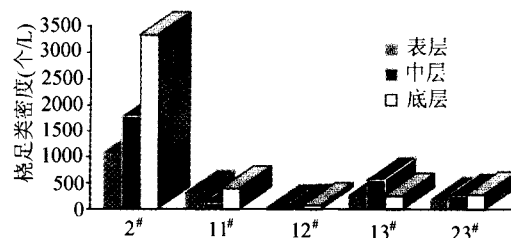


图 8 桡足类垂直分布

⑥ 桡足类的垂直分布 桡足类的垂直分布数量为:底层 > 中层 > 表层。底层(870.4 个/L)比表层(369.4 个/L)高出二倍多(图 8)。

三、讨 论

1. 轮虫池浮游生物的特点

(1) 总生物量大 本次实验 8 个重点池的浮游生物量(用显微镜定量和个体均重换算算法得出的)结果显示:浮游植物和浮游动物的总平均生物量分别为 83.3 mg/L, 84.0 mg/L。比我国广东、哈尔滨等地的部分肥水鱼池的浮游植物生物量高出 2/3, 浮游动物生物量高出近 4 倍(李永函等, 1993)。产生此差别的主要原因是轮虫池浮游生物不受鱼的下行效应的影响, 以及大量营养盐和有机碎屑的补充。

(2) 能观察到的属(种)数少 本次实验初步鉴定结果显示, 8 个重点试验池中能观察到的浮游植物近 30 属, 能形成一定生物量(>0.1mg/L)的浮游植物 14 个属(种), 约占我国南北若干高产鱼池的浮游植物 60~100 属(刘青等, 1991; 姚宏禄, 1996; 何志辉等, 1983)的 1/3, 甚至比北方地区冰下水体的浮游植物种(属)还少(李永函等, 1985)。从生态学角度看, 群落种数随环境条件而异。通常环境越多样化, 越接近于生活的最适度, 种数就越多; 反之, 种数就越少。轮虫池浮游植物多样性指数在 2~3 之间, 浮游动物多样性指数在 0.38~0.56 之间, 属偏高度污染, 同冬季低温低光照抑制许多适温种发生原理一样, 池中隐藻、裸藻等污生性种类孳生成绝对优势种群, 抑制其他普生种的发生。

(3) 种类大型化 轮虫池(后期)浮游植物以裸藻、卵型隐藻等体长超过 20 μ m 的较大型鞭毛藻为主, 臂尾轮虫摄食藻类的最适颗粒大小为 10 μ m 左右(Rothhaupt, 1990), 而上述藻类如裸藻长达 35 μ m, 直径 21 μ m, 远远大于可食规格, 便成为幸存者与滤食者——轮虫共存。同样, 轮虫池的浮游动物随着培养日期的增加其种群也出现大型化趋势。一般历程: 原生动物——疣毛轮虫——褶皱臂尾轮虫——桡足类。出现这一规律的机理, 与同一生态位的滤食性浮游动物生存能力和“争食”能力强弱有关。Brooks 等(1965)认为, 滤食性浮游动物的滤食效率与表面积和体长呈正比。所以, 大型种类势必要取代小型种类。从群落演替规律看, 种类大型化也是水生生态系内部逐渐趋于稳定, K-选择者替代 r-选择者, 使群落产量(P)和呼吸量(R)接近等值的一个自然过程。

2. 轮虫池浮游生物的供饵能力

(1) 浮游植物的供饵能力的估算 所测 8 个重点实验池浮游植物平均生物量为 80.3mg/L。按平均水深 1m 计算,每公顷生物量为 803kg,若单位水面下的日 P/B 值取 1.15(Winberg, 1972),则日毛产量为 923.5kg/hm²,按 Winberg(1972)浮游植物净产量为毛产量 80% 的结论计算,日净产量为 738.8kg/hm²。根据 Lindeman(1942)推算浮游植物净产量的 10% 可转化为浮游动物产量,因此浮游动物日产量为 73.9kg/hm²,相当于亩产 4.96kg/d。但轮虫池浮游动物实际亩产量 > 10kg/d。可以推测浮游动物产量有 1/2 以上可能是由超微藻、有机碎屑、细菌等提供的。

(2) 浮游动物的供饵能力的评价 轮虫池的轮虫平均生物量为 7.14mg/L。(水深以 1m 计,合 71.4kg/hm²)。轮虫日 P/B 值为 0.5 ~ 0.8(ИВАНОВА, 1975),取均值 0.65。其生产量为 46.4kg/(hm²·d)。鱼苗食轮虫的毛生长率为 39%(ПОНОВ, 1969),若蟹苗毛生长率也取该值,换算成饵料系数约为 2.5,摄食率按 50% 计算,可提供 11.3kg/(hm²·d)的次级生产力,相当于平均体重 1.0mg/尾(Z_4)的蟹苗 11.3×10^7 尾。生产中蟹苗放养密度约为 15×10^7 尾/hm²,同时蟹苗(Z_1 — Z_4)还可摄食部分浮游植物。生产上可按照 1:1 设置轮虫池和蟹苗池。

3. 浮游生物分布规律及成因

闫喜武(1993)对虾池浮游植物的研究表明:虾池浮游植物生物量的水平分布主要受风的影响,有风天,上风位水色清淡,下风位水色很浓。但刘建康等(1990)对武汉东湖浮游植物分布的测定结果却指出,东湖水体在有风天水色分布较均匀。造成上述差异的原因与浮游植物的种类有关。东湖水体以非鞭毛藻占绝对优势,故上、下风位浮游植物生物量差异很小。本实验也观察到:浮游植物的分布与种类有关,一般情况下,下风位的鞭毛藻类较上风位高,而非鞭毛藻类差异不明显。其主要原因为鞭毛藻趋光上浮后,受风浪冲击所致。但裸藻的分布较为特殊,喜欢沉底,因而底层比表层多,受风浪影响小,故上、下风位差异不大。

在正常生态环境下,轮虫和桡足类数量水平分布与风浪关系密切,有风天,上风位 > 下风位;无风天上、下风位无明显差异,此分布与浮游植物正好相反,其成因在于它们对水流的抗逆能力不同。抗逆力大于风浪的冲击力时,生物能主宰自身的运动不随波逐流,甚至顶风前进。游泳能力强的水生生物都具有顶水的习性,鲢科鱼类在生殖季节溯河几百公里至上游产卵。草绿刺剑水蚤(*acanth*)在流速 8cm/s 时仍能逆水前进(何志辉, 1989)。轮虫与桡足类有一定的抗逆能力,微风天其抗逆力强于风浪的冲击力,因此顶水到上风位;大风天,当表层受风力影响产生波浪时,轮虫和桡足类沉降到波浪所不及的中下层,在涡流的带动下集中至相对平稳的上风位。尽管它们产生这一举动的机理尚不清楚,但某些鱼类(鲢鱼)借溯河而上的过程中高水平的能量代谢,使其达到性成熟;栉状弓杆藻(*Eunotia pectinalis*)在 18cm/s 水流下耗氧为静水中的 2 倍,吸收 PO_4-P 的量为静水中的 7 倍(何志辉, 1989),它们这些行为可能是为满足自身的某种生理需要。此外,我们还可认为这是它们对生存环境的一种生物学适应。顺水漂流最终可能导致躯体被搬上岸,直接胁迫种群的存亡。相比之下,较小型的、繁殖能力强、适应性广的 r 选择者,如浮游植物就没有此种适应。当水体平均 DO 小于 1.0mg/L 时,轮虫分布则不遵循上述规律而是

下风位>上风位。此种情况下,缺氧个体被迫上浮(此时表层得到水气界面溶氧的补充, $DO>1\text{mg/L}$),而已“精疲力竭”的个体失去对风浪的抵抗能力,导致下风位数量明显多于上风位。

本实验初步测定数据表明,浮游植物的垂直分布表层大于底层,推测其差异主要由鞭毛藻的运动造成的。由于采样在 8:00 左右,正是鞭毛藻趋光上浮,所以生物量集中表层,而非鞭毛藻的生物量表底接近,这与何志辉(1989)对无锡河埭口高产鱼池浮游植物的垂直分布及李永函等(1985)对哈尔滨地区越冬池浮游植物的垂直分布观察结果一致。浮游生物有一定的趋弱光性,超过浮游生物对光照的最适量,生物必定产生一种回避行为,本实验浮游动物分布采样于 10:00 左右,正是光强时段,浮游动物避强光趋弱光伏底。环境适宜(无风浪、无强光)时,浮游动物减少活动伏底生活可以节省更多的能量消耗,有其重要的生物学意义。另外,趋底觅食也是一种生存需要,前面的供饵能力数据表明,轮虫生长需要的能量有 1/2 以上可能是由普通光学显微镜能够观察到的浮游植物以外的能量源提供的,那么,池底有机碎屑、细菌等就成了滤食性浮游动物的补充饵料。因此,趋底成为浮游动物生存的选择。

参 考 文 献

- 李永函等,1993,淡水生物学,高等教育出版社,203~204。
- 李永函、丘日彬、张桂兰,1985,冰下浮游生物的研究,水生生物学报,9(2):117~128。
- 李永函、刘青、赵艳等,1993,褶皱臂尾轮虫的敞池增殖,水产科学,12(8):1~5。
- 李永函、金送笛,1997,低温条件下轮虫的敞池增殖,中国水产科学,4(5):60~65。
- 刘青、赵玉宝、王岩等,1991,吉林镇赉地区高产鱼池浮游生物研究,大连水产学院学报,6(3,4):14~27。
- 刘建康等,1990,东湖生态学研究(一),科学出版社,90。
- 闫喜武,1993,庄河清堆虾池的浮游生物,大连水产学院学报,7(4):9~22。
- 何志辉,1989,淡水生物学,农业出版社,76~78。
- 何志辉、李永函,1983,无锡河埭口高产鱼池水质研究(Ⅱ浮游生物),水产学报,7(4):287~300。
- 张学成、谭桂英,1993,耐低温轮虫的大规模培养,海洋科学,(3):1~3。
- 张觉民、何志辉,1991,内陆水域渔业自然资源调查手册,农业出版社,12~122。
- 赵沟、张敬春,1993,利用轮虫和枝角类培养水花技术,淡水渔业,(5):24~26。
- 姚宏禄,1996,综合养鱼高产池塘的浮游植物,中国水产科学,3(1):64~71。
- Brooks, J. L. and Dodson, S. I., 1965, Predation, body-size and composition of plankton, *Science*, 150:28~35。
- Lindeman, 1942, The trophic-dynamic aspect of ecology, 23:399~418。
- Li Yonghan, 1996, Strategies for Development of Rotifers as Larval Fish Food in Ponds, *Journal of the World Aquaculture Society*, 27(2):12~20。
- Rothhaupt, K. O., 1990, Differences particle size dependent feeding efficiencies of closely related rotifer species, *Limnol Oceanogr*, 35(1):16~23。
- Winberg, G. G., 1972, Some interim results of Soviet IBP investigations on lakes. In: "Productivity Problems of Freshwaters", Warszawa Krakow, 363~381。

A PRELIMINARY STUDY OF THE PLANKTON IN THE EARTHEN PONDS FOR *BRACHIONUS PLICATILIS*

Li Xiaodong, Wu Huiliang, Zhang Qingjing, Li Yonghan
(Dalian Fisheries University)

ABSTRACT

The average phytoplankton biomasses are 116.7mg/L during the prophase of rotifer peak occurrence, 62.1 mg/L during the peak phase in 8 experimental rotifer ponds. Some smaller algae, such as *Chlorella* and *Chroomonas*, were major species during the prophase. But larger algae such as *Euglena viridis*, however, were dominant species comprising 85 % of the total biomasses during the peak phase. The average zooplankton biomasses was 100.2 mg/L in the semi-stagnant ponds and 67.2 mg/L in the stagnant ones, Where *Brachionus plicatilis* was the only dominant species of zooplankton comprising about 85 % of the total zooplankton biomasses. The diversity indices of phytoplankton were 2.53 and 2.98 during the prophase and the peak phase, respectively, while that of zooplankton were 0.56 in semi-stagnant ponds, and 0.38 in stagnant ponds. The spatiotemporal distributions of zooplankton showed regularity. The biomasses dynamics of phytoplankton was shown a "U" type, and the biomass change of rotifer conforms to the logistical curve. The biomasses of flagellate algae in the upwind zone exceeded that in the downwind zone; the biomasses on the surface exceeded that at the bottom. The biomasses of non-flagellate algae show no distinction not only between the upwind zone and the downwind zone, but also between the surface zone and the benthic zone. In the depletive state of oxygen the biomasses of rotifers and copepods in the downwind zone are more than those in the upwind zone, and the benthic biomasses are more than upper those. The features of plankton species composition and biomass, the food-supply capacity of phytoplankton and rotifer, and some regulations and reasons for plankton distributions in the rotifer ponds were discussed.