

# 伊乐藻—草鱼圈养复合生态系统 中水生生物的变化和影响

郭晓鸣 高 光 魏 云 周万平

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

**摘要** 从细菌、浮游植物、浮游动物、底栖动物和有机碎屑等几个方面分析了养鱼对伊乐藻种植区(以下简称有草区)和无草区水域环境的影响。结果表明:两个区域存在着显著的差异性,有草区由于生长着茂密的水生植被,对环境压迫的缓冲能力增强,水生生物的群落结构较为稳定,物种多样性指数高于无草区,有机物的沉降速率也大大低于无草区。与此相比,无草区对环境压迫的缓冲能力较差,水体浮游植物数量增加,富营养化加剧。通过本项实验可以看出,人工种植伊乐藻对养鱼区水质有着明显地控制作用,是发展生态渔业的一条有效途径。

**关键词** 伊乐藻 养鱼 环境影响 浮游植物 浮游动物 底栖动物

“伊乐藻—草鱼圈养系统”是在湖泊中人为地设立相对独立的子系统,即用伊乐藻喂鱼,鱼的排泄物转化为营养盐,营养盐转化为伊乐藻的循环系统。转化的有机物质通过鱼移出系统外,基本做到子系统内无多余的有机物滞留水中,还可能移去大系统中的部分有机物质,实现优化养鱼环境的目的。本课题选择东太湖为实验基地,建立一个半封闭的人工围隔试验区,区内设立两个养鱼区,一个伊乐藻种植区,一个无草区。在有草区,1993年5月3日抽样调查水生植物为 $3601.75\text{g}/\text{m}^2$ ,6月18日抽样调查为 $6990.2\text{g}/\text{m}^2$ 。无草区在试验开始时除去所有水生维管束植物,但仍留有一些未除尽,在5月25日全区拔除水生维管束植物,折算生物量为 $377.5\text{g}/\text{m}^2$ ,6月2日全区拔除水生植物,折算生物量为 $173\text{g}/\text{m}^2$ 。围隔外敞水区(以下简称对照区)于5月3日抽样调查水生植物为 $2172.5\text{g}/\text{m}^2$ 。在两个养鱼区各投放草鱼30尾,有草养鱼区体长 $24-32\text{cm}$ ,平均 $26.56\pm 2.38\text{cm}$ ,体重 $305-720\text{g}$ ,平均 $446.50\pm 114.37\text{g}$ ;无草养鱼区体长 $20.8-32.5\text{cm}$ ,平均 $26.12\pm 2.70\text{cm}$ ,体重 $230-920\text{g}$ ,平均 $443.50\pm 148.38\text{g}$ 。通过对细菌、浮游植物、浮游动物、底栖动物、有机碎屑在不同区域的变化对养鱼带来的水域环境的影响分析,做出综合的分析和评价。

有关围网养鱼对水质影响的研究,国内学者做过一些工作<sup>[1,2]</sup>,但就本项试验的研究,目前国内、外还未见报道。本项试验的主要目的是为了优化养鱼环境,为生态渔业开辟一条新的途径。

## 1 材料与方 法

### 1.1 人工围隔试验区的建立

如图1所示,1993年4月在东太湖中用双面喷塑蛇皮布围成 $10\text{m}\times 50\text{m}$ 的长方形区,其中设养鱼区、伊乐藻种植区和无草区。养鱼区与有草区、无草区之间用渔网隔开,有草区与

无草区之间用两层蛇皮布分隔。围好后将无草区中水草全部除去,同时在有草区里移植伊乐藻,放养鱼情况见另文。围隔内设采样点1—8(图1),围隔外设一采样点为9。采样时间分别为:1993年4月17日放鱼前本底调查,5月22日、6月12日、7月2日、7月22日、8月12日、9月8日和1994年4月14日共8次。

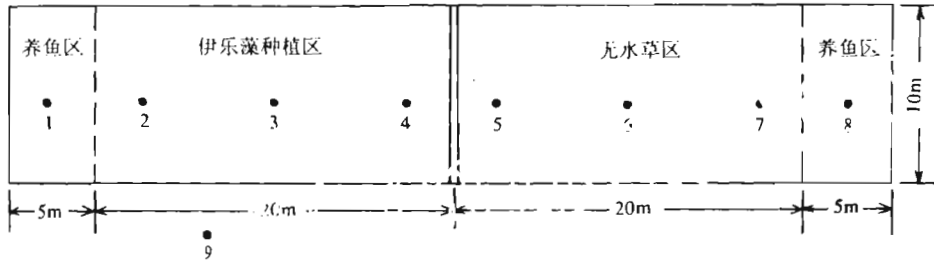


图1 围隔试验区及采样点分布图

Fig. 1 Enclosure experiment region and sampling stations

## 1.2 细菌

水样均取自湖水表层0—10cm处,用灭菌采水瓶进行采集,并立即送入实验室。异养细菌数量的测定,采用营养琼脂培养基,使用平皿培养法进行计数。大肠菌群数量的测定,采用滤膜进行计数。

## 1.3 浮游生物

定性样品用13号和25号浮游生物网作“∞”捞取,浮游植物和原生动物、轮虫定量样品取中层1L水样,用鲁哥氏液固定,经24h沉淀再用虹吸法浓缩至30mL。取0.1mL水样在显微镜下以视野法计浮游植物个数,另取0.1mL水样计原生动物和轮虫个数,重复三次取平均数。浮游甲壳类定量样品用2.5L采水器在表、底层各采一次,即5L水样用25号浮游生物网过滤浓缩,在解剖镜下全部计数。定性样品及浮游甲壳类定量样品均用4%甲醛溶液固定。浮游动物各类生物量换算见文献[3],浮游植物依实测换算成生物量。

## 1.4 底栖动物

样品用彼得森采泥器(面积为 $0.2\text{m} \times 0.3\text{m} = 0.06\text{m}^2$ )在采样点取泥样一次,然后将泥样用40目铜筛筛滤,将所有活体检出,用7%甲醛溶液固定。样品分类计数并称其重量。

## 1.5 有机碎屑

悬浮有机碎屑的采集用2.5L采水器分别取上、中、下三层混合水样30L。从中取250mL测定叶绿素含量,另取250mL用预先煅烧过( $550^\circ\text{C}$ , 30min)的玻璃纤维滤膜(Whatman GF/C)抽滤,然后将滤膜置烘箱内( $100-105^\circ\text{C}$ )2h,称其恒重,再放入马福炉中煅烧( $550^\circ\text{C}$ , 30min),称其恒重,两次重量之差为有机成分的含量,剩余水样加入浓盐酸,令pH为1—2,使碳酸盐和重碳酸盐分解释放 $\text{CO}_2$ ,静置24h后用虹吸法浓缩,再经离心处理,所得沉淀物置于称量瓶中,放入烘箱内( $100-105^\circ\text{C}$ )2h,测定C、N、P含量。

沉降有机物的采集用悬浮式沉降物采样器采集水柱沉降物。每套采样器由若干个有机玻璃沉淀瓶组成,每个沉淀瓶由大小两个套合圆筒组成。小套筒口径为7cm,高15cm,用40目尼龙网布封住筒底。大套筒口径为10cm,有一口沿叠合着小套筒。大小套筒组合高度为25cm。大套筒口沿可防止筒内沉淀物重新悬浮,小套筒底的尼龙网不仅可以防止精细颗粒物通过,还可以阻止较大的生物侵入,同时也阻止大筒沉淀物重新悬浮。采样器悬挂于离湖泥

界面上方 0.3—0.5m 处,每次悬挂时间为 24h。将采集的水样从中取 250mL 测定叶绿素含量,剩余水样加入浓盐酸至 pH 为 1—2,静置 24h 后用虹吸法浓缩,再经离心处理,将沉淀物移至称量瓶中,放入烘箱内(100—105℃)2h,称其恒重,测定灰分、N、P 含量。

灰分测定是在马福炉中煅烧(550℃)30min,称其恒重。N 含量的测定是凯氏定氮法,P 含量的测定是以四氧化钨—高氯酸消解样品后用钼蓝比色法,叶绿素含量是以丙酮溶解后比色测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 细菌数量的分布与变化

本项试验以 1993 年 7 月 22 日以前投喂伊乐藻条件下分析了细菌数量的变化,结果表明在围隔试验区中,有草区与无草区的异养细菌和大肠菌群有着显著的差异性。

2.1.1 异养细菌 如图 2 所示,实验刚开始时,有机污染还不多,加上人工干扰的影响还未完全去除,故围隔区中异养细菌的数量不多,且分布的规律性也不明显。随着喂养过程中不断地投入饵料,残饵及鱼类的排泄物不断地进入水体,使得养鱼区中的有机物含量逐渐增加,因而异养细菌的数量在养鱼区中分布最多,并随有机物的扩散向外呈现出逐渐减少的趋势。这一趋势在有草区比无草区更为明显。从 1993 年 6 月 12 日至 7 月 22 日的三次分析

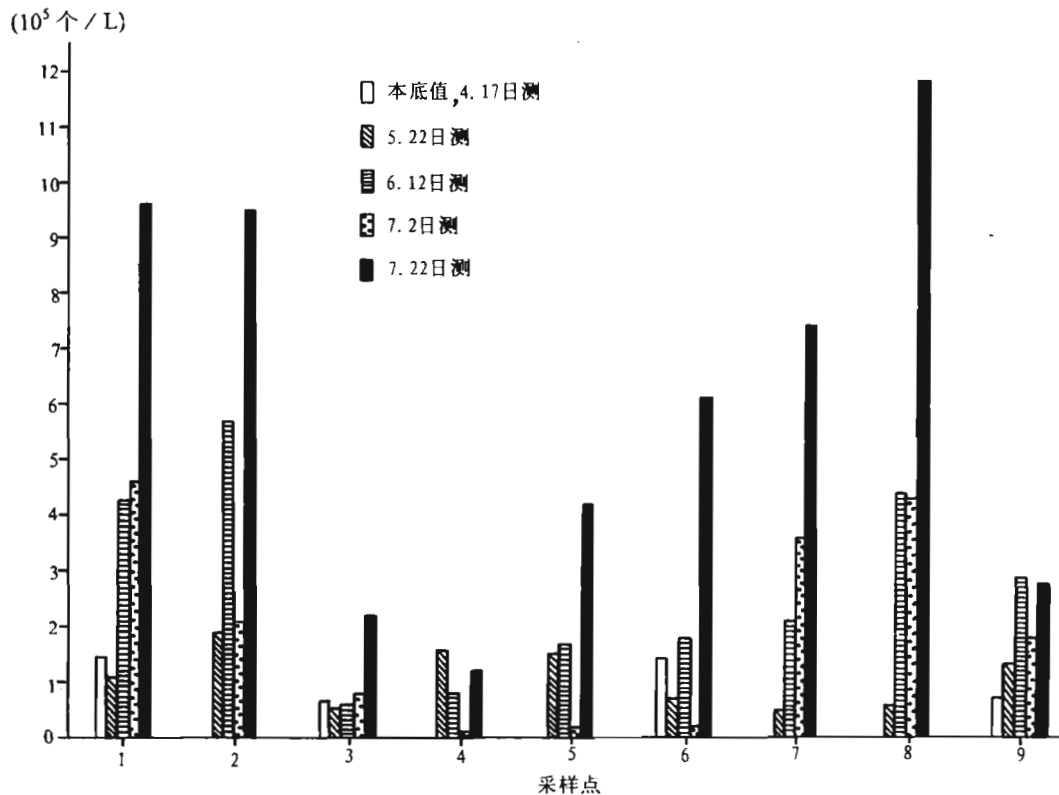


图 2 异养细菌在不同时间里的数量分布

Fig. 2 Density distribution of heterotrophic bacteria in different time

中可以看出,有草区,以养鱼区(1号采样点)到最远的4号采样点,其异养细菌的数量分别减少为:81.4%、98%、87.5%,平均为88.9%;而在无草区则分别为:61.4%、95.3%、64.4%,平均为73.7%。这一结果表明,由于伊乐藻植被对水体中悬浮态有机物质的吸附、阻拦及过滤等作用,使得水体中有机物质的扩散受到阻碍,同时伊乐藻植被对水体的净化作用,使得水质得到改善,因而异养细菌的数量大为减少。与此相反,无草区因没有水生植被的作用,异养细菌的数量均较高。

2.1.2 大肠菌群 如图3所示,大肠菌群的数量分布与异养细菌相似,开始分布的规律性不十分显著,随着实验的进行,其数量分布的差异越来越显著。在围隔试验区中监测,大肠菌群的数量以养鱼区最多,并随离养鱼区的距离增大而逐渐减少的趋势。这种减少的趋势在有草区比无草区要明显得多。如在有草区中,1号采样点(养鱼区)至4号采样点,大肠菌群的数量减少了42.6%—92.9%,平均减少了75.6%,而在无草区中,8号采样点(养鱼区)至5号采样点,大肠菌群的数量减少了40.8%—88.9%,平均减少了66.7%。

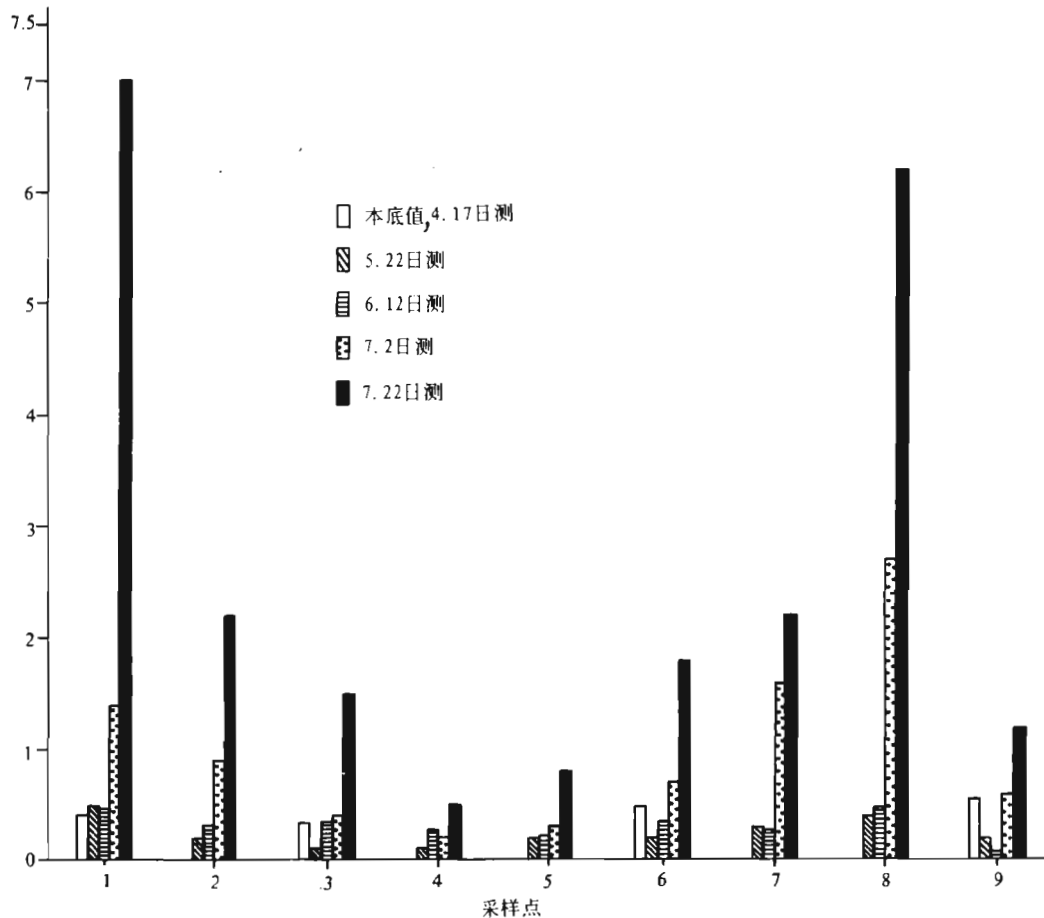


图3 大肠菌群在不同时间的数量分布

Fig. 3 Density distribution of coliform group in different time

综合上述实验结果可以看出,随着养鱼时间的增加,养鱼区中污染物逐渐积累,使得水质变坏,水体中异养细菌和大肠菌群的数量大量增加,而无论是天然水生植被,还是人工种植的伊乐藻植被,均对从养鱼区中扩散出来的污染物有着阻拦、吸附、过滤、吸收等作用,使得水体得到净化,水质得到恢复,水体中异养细菌及大肠菌群的数量也大为减少。

## 2.2 浮游植物

通过对3个不同区域的8次采样分析,见有浮游藻类7门、49属,其中绿藻门最多,22属;硅藻门次之,11属;第三为蓝藻门,10属;其他各门仅1—2属。从3个区域的分布上看,有草区稍多,有40属,无草区39属,对照区最少为30属。有草区和无草区的种类组成及常见种相差不大,但这两个区域与对照区相比则明显不同,特别是富营养型种类在有草区和无草区较多,且出现的频率及数量都高于对照区,说明养鱼对水质的影响是明显的。优势种主要为蓝藻门中的色球藻 *Chroococcus*、微胞藻 *Microcystis*、颤藻 *Oscillatoria*、腔球藻 *Goelosphaerium* 等。

从数量和生物量的分析结果看:无草区最高,平均为 $6\,070.853 \times 10^4$ 个/L和 $8.3108$  mg/L;有草区次之,平均为 $462.187 \times 10^4$ 个/L和 $7.1776$  mg/L;对照区最少,平均为 $581.544 \times 10^4$ 个/L和 $4.5362$  mg/L(表1)。

表1 各区浮游藻类平均数量、生物量

Tab. 1 Average density and biomass of phytoplankton in different regions

种类	伊乐藻种植区		无草区		围隔外对照区	
	数量( $10^4$ 个/L)	生物量(mg/L)	数量( $10^4$ 个/L)	生物量(mg/L)	数量( $10^4$ 个/L)	生物量(mg/L)
蓝藻门	4223.339	1.3223	5507.786	2.4482	348.623	0.1451
隐藻门	16.736	0.6695	26.400	1.0560	24.505	0.9802
裸藻门	9.347	0.5356	23.305	1.2198	17.936	0.7629
甲藻门	2.211	0.5672	4.358	1.5259	3.032	0.0910
金藻门	45.283	0.4528	68.651	0.6966	37.136	0.3714
硅藻门	63.283	0.9775	47.052	0.6529	59.620	1.0214
绿藻门	251.988	2.6527	393.301	0.7123	90.692	1.1642
合计	4612.187	7.1776	6070.853	8.3108	581.544	4.5362

从这里可以看出三个区域的差异性明显的。由于受养鱼的影响,水体中营养盐增加,促使了浮游藻类这一初级生产力的增加。从围隔内两个区域的数量和生物量看,都远远高于围隔外对照区,特别是数量,无草区高于对照区10.44倍,有草区高于7.93倍。而在有草区和无草区之间,无草区高于有草区 $1458.666 \times 10^4$ 个/L和 $1.1332$  mg/L,说明无草区受养鱼污染的状况较有草区严重,有草区由于生长着茂密的伊乐藻,对藻类生长起到一定的抑制作用。

根据表2和图4、图5可以看出三个区域的数量和生物量的变化。无草区数量和生物量都呈逐渐上升趋势,至1993年9月8日达到最高值,分别为 $267\,244.694 \times 10^4$ 个/L和 $27.9249$  mg/L,随后至翌年4月14日降低。有草区数量也呈逐渐上升趋势,至8月12日达到最高值 $17\,086.901 \times 10^4$ 个/L,随后降低。生物量出现两个波峰,一个在6月12日,为 $16.8365$  mg/L,这主要由于鼓藻数量较多所致;另一个在9月8日,达 $14.2037$  mg/L。对照区数量和生物量波动不大,远远小于前两个区域。

表2 各月浮游藻类的数量、生物量  
Tab.2 Average density and biomass of phytoplankton in different sampling time

时 间	试验区	蓝藻门		隐藻门		裸藻门		甲藻门	
		数量 <sup>1)</sup>	生物量 <sup>2)</sup>	数量 <sup>1)</sup>	生物量 <sup>2)</sup>	数量 <sup>1)</sup>	生物量 <sup>2)</sup>	数量 <sup>1)</sup>	生物量 <sup>2)</sup>
1993-04-17	有草区	307.192	0.1101	8.084	0.3234	4.042	0.0808	0	0
	无草区	355.696	0.0760	4.042	0.1617	0	0	0	0
	对照区	157.638	0.0456	8.084	0.3234	0	0	0	0
1993-05-22	有草区	461.799	0.1261	2.526	0.1008	1.516	0.0303	0	0
	无草区	497.614	0.1513	10.105	0.4042	2.526	0.1718	6.063	0.1819
	对照区	165.722	0.0565	20.21	0.8084	0	0	0	0
1993-06-12	有草区	882.390	0.4530	12.126	0.4850	5.053	0.1619	0	0
	无草区	189.469	0.1044	2.021	0.0809	26.778	1.5365	2.021	0.0607
	对照区	238.478	0.1312	0	0	4.042	0.0808	0	0
1993-07-02	有草区	384.994	0.0694	19.200	0.7380	14.652	0.9398	3.032	0.5659
	无草区	324.365	0.1033	11.116	0.4446	48.504	3.4761	6.063	1.6067
	对照区	321.338	0.0992	24.252	0.97	42.441	1.1712	0	0
1993-07-12	有草区	432.112	1.2128	22.736	0.9095	4.042	0.1617	3.032	1.0105
	无草区	8812.065	1.8543	43.452	1.7381	26.778	1.5057	5.558	2.7789
	对照区	155.617	0.065	42.441	1.6976	8.084	0.1617	4.042	0.1213
1993-08-12	有草区	16484.287	4.7215	30.315	1.2126	22.231	1.0914	1.011	0.5053
	无草区	7818.744	1.8324	126.313	5.0525	38.904	0.8589	0	0
	对照区	557.796	0.1942	48.504	1.940	24.252	1.4551	0	0
1993-09-08	有草区	10071.148	3.7560	32.841	1.3137	21.221	1.7583	10.610	2.4555
	无草区	25565.65	15.349	10.105	0.4042	34.862	1.6673	11.116	5.5578
	对照区	1071.13	0.5255	40.420	1.6168	60.63	2.8294	20.21	0.6063
1994-04-14	有草区	274.856	0.0995	6.063	0.2426	2.021	0.0404	0	0
	无草区	499.187	0.1098	4.042	0.1617	8.084	0.4851	4.042	2.021
	对照区	121.260	0.043	12.126	0.4850	4.042	0.4042	0	0
时 间	试验区	金藻门		硅藻门		绿藻门		合 计	
		数量 <sup>1)</sup>	生物量 <sup>2)</sup>	数量 <sup>1)</sup>	生物量 <sup>2)</sup>	数量 <sup>1)</sup>	生物量 <sup>2)</sup>	数量 <sup>1)</sup>	生物量 <sup>2)</sup>
1993-04-17	有草区	8.084	0.0808	20.21	0.2740	202.1	0.3427	549.712	1.2118
	无草区	80.84	0.8084	40.42	0.5656	84.882	0.1537	565.88	1.7656
	对照区	32.336	0.3234	44.462	0.8892	113.176	0.3448	355.696	1.9264
1993-05-22	有草区	7.074	0.0707	56.083	1.0190	120.860	1.5166	649.858	2.8635
	无草区	31.831	0.3183	41.936	0.6285	191.992	0.6765	782.067	2.5325
	对照区	0	0	80.84	1.4349	90.945	0.1631	357.717	2.4629
1993-06-12	有草区	2.526	0.0253	75.788	1.4659	347.107	14.2253	1324.99	16.8365
	无草区	23.747	0.2375	18.694	0.2925	154.607	0.4613	417.337	2.8238
	对照区	0	0	36.378	0.7074	167.743	4.283	446.641	5.2024
1993-07-02	有草区	0	0	64.672	1.0836	95.998	1.9851	582.518	5.4418
	无草区	12.126	0.1213	49.515	0.9151	179.869	0.3982	631.058	7.0703
	对照区	4.042	0.0404	92.966	1.7493	78.819	2.0583	563.859	6.0893
1993-07-22	有草区	0	0	26.778	0.5356	266.267	1.2106	5242.967	5.0407
	无草区	0	0	64.672	1.0240	1045.076	1.7254	9997.601	10.6264
	对照区	34.357	0.3436	10.105	0.2021	66.693	0.1148	321.339	2.7061
1993-08-12	有草区	0	0	91.956	1.4453	457.101	0.9591	17086.901	9.9352
	无草区	7.579	0.0758	17.179	0.2875	719.981	1.6137	8728.7	9.7208
	对照区	0	0	32.336	0.6467	72.756	2.1423	735.756	6.3783
1993-09-08	有草区	318.308	3.1831	67.704	0.8897	403.190	0.8474	10925.022	14.2037
	无草区	348.623	3.4862	93.471	0.9191	660.867	0.5431	26724.694	27.9249
	对照区	0	0	14.147	0.1932	66.693	0.1121	1273.23	5.8833
1994-04-14	有草区	26.273	0.2627	103.071	1.1071	123.281	0.1344	535.565	1.8867
	无草区	52.546	0.5255	50.525	0.5906	109.134	0.1265	727.560	4.0202
	对照区	226.352	2.2635	165.722	2.3484	68.714	0.095	598.216	5.6393

1) 单位:  $10^4$  个/L; 2) 单位: mg/L.

从以上看出,数量高峰均出现在水温较高的夏末秋初,这是优势种蓝藻大量繁殖所致。生物量的变化和数量有共同之处,但亦有差异,主要是藻类体积大小不等所致。从数量的变化趋势上看,1993年7月2日以前数量很低。且波动也不大。这主要由于水温不高,营养盐的积累也需要一定的时间,蓝藻的爆发还没形成。到7月22日有一个陡升的过程。值得一提的是,在7月22日以前,养鱼投喂的是伊乐藻,以后改喂小麦。所以在这之后藻类数量之高是与换喂饲料有着密切的关系。养鱼试验于10月22日结束,所以至翌年4月藻类数量下降是很自然的。养鱼对水体中浮游藻类的种类组成,数量及生物量都有很大的影响,而水生维管束植物与藻类争光争营养盐,并有抑制蓝藻等生长的作用。实验结果也表明有草区藻类数量和生物量低于无草区,水质状况也优于无草区。

### 2.3 浮游动物

通过对有草区、无草区与围隔外对照区的采样分析,共鉴定出浮游动物(不包括原生动物)102种,其中轮虫67种,枝角类23种,挠足类12种。有草区种类最多,计有92种,无草区最少,仅60种,对照区有72种。在三个区域都有分布的共48种,且优势种基本一致,主要有:大肚须足轮虫 *Euchlanis dilatata*、螺形龟甲轮虫 *Keratella cochearis*、前节晶囊轮虫 *Asplanchna priodonta*、针簇多肢轮虫 *Polyarthra irigla*、独角聚花轮虫 *Conochilus unieornis*、模糊秀体蚤 *Diaphanosoma dubia*、长额象鼻蚤 *Bosmina longirostris*、脆弱象鼻蚤 *Bosmina fatalis*、钩足平直蚤 *Pleuroxus hamulatus*、园形盘肠蚤 *Chydorus sphaericus*、右突新镖水蚤 *Neodiptomus schnackeri*、锯缘真剑水蚤 *Eucyclops serrulatus*、温中剑水蚤 *Mesocyclops thermocyclopoides*、台湾温剑水蚤 *Thermocyclops taihokuensis* 等。随着

实验的进行,种类数在三个不同区域有相似的变化趋势,但变化的幅度不同(图6)。从实验开始,种类数都呈上升趋势,到1993年6月12日各自达到最高值:有草区47种,无草区和对照区都为32种。随后都开始下降,7月2日以后,种类数波动幅度不大,有草区和对照区

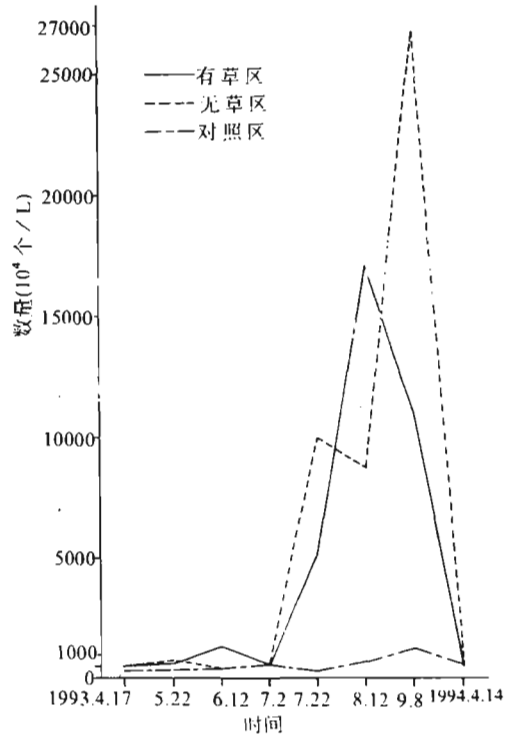


图4 浮游植物的数量变化

Fig. 4 Abundance changes of phytoplankton

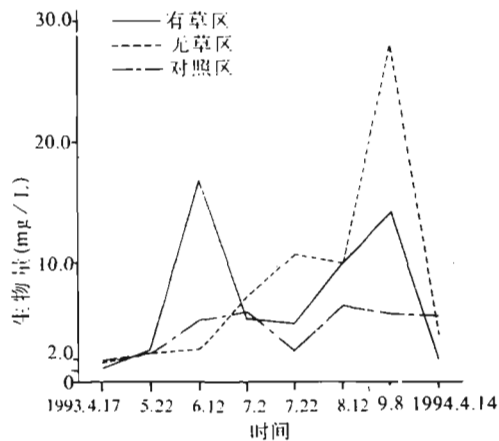


图5 浮游植物的生物量变化

Fig. 5 Biomass changes of phytoplankton

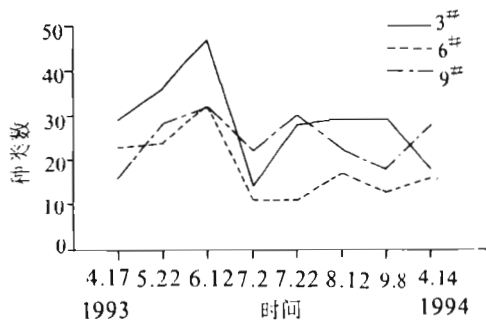


图6 浮游动物种类数的变化

Fig. 6 Species number changes of zooplankton.

在20—30种之间,无草区在10—20种之间。从种类的变化上看,养鱼对水体有着不同程度的影响。特别是无草区种类趋势于贫乏。

从数量和生物量的分析结果看:有草区浮游动物平均数量为4752ind./L,生物量4.868mg/L,无草区数量6749ind./L,生物量3.9407mg/L;对照区数量1814ind./L,生物量1.1166mg/L。不难看出3个区域存在着一定的差异。首先养鱼促使水体营养盐增加,从而也促使了浮游动物这一次级生产力的增加,从围隔内两个区域的数量和生物量看,都远远高于围

隔外对照区。而在有草区与无草区之间,无草区数量多于有草区1997ind./L,而生物量比它低0.9275mg/L,显然无草区内浮游动物中的小型种类即原生动物和轮虫所占比重大于有

表3 不同试验区浮游动物数量及生物量  
Tab. 3 Average amount and biomass of zooplankton in different regions

动物类群	有草区		无草区		对照区	
	数量	生物量	数量	生物量	数量	生物量
原生动物	1039	0.0312	1306	0.0392	675	0.02203
轮虫	3522	1.0567	5283	1.585	1013	0.3038
枝角类	23	0.4692	4	0.0785	3	0.0545
桡足类	168	3.3109	156	2.238	123	0.738
合计	4752	4.868	6749	3.9407	1814	1.1166

\* 数字系平均数,数量为ind./L,生物量为mg/L.

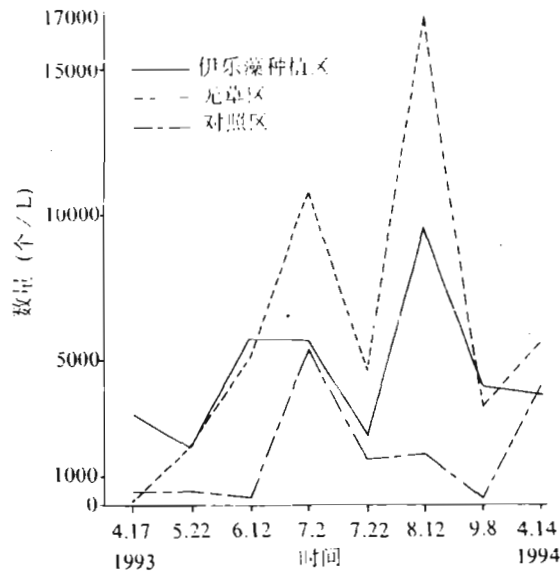


图7 浮游动物数量的变化

Fig. 7 Abundance changes of zooplankton

草区(表3)。从8次采样分析的结果看(图7、图8),无草区浮游动物数量波动幅度较大,而且有两次超过10<sup>4</sup>ind./L:一次在7月2日,为10791ind./L;另一次在8月12日,达16810ind./L。这主要由于原生动物和轮虫数量的爆发所致。而生物量的变化主要取决于浮游甲壳类即枝角类和桡足类的变化。从图8可以看出,随实验的进行,生物量逐步增加。有草区,由于生长着茂密的水生植被,浮游动物对环境压迫的缓冲能力增强,群落结构较为稳定,数量变化的幅度小于无草区。

综上所述,养鱼对不同水域环境中浮游动物的影响是明显的,无论是种群组成,还是数量和生物量都存在着差异性。无草区由于生境的简单性表现出对外界环境变化的缓



冲能力较差,种类组成和数量变化逐步演化为池塘浮游动物群落结构,藻型富营养状况加剧。有草区浮游动物的群落结构较为稳定,种类的多样性和数量的变化基本上未受影响。由此看来,在一定范围内人工种植伊乐藻对养鱼带来的水体富营养化有着积极的作用。

#### 2.4 底栖动物

从5个区域的8次采样中共获得底栖动物21种,其中环节动物5种,软体动物7种,节肢动物9种。1号采样点和3号采样点分别有13种和12种;有草区分布有19种;

无草区分布有14种;对照区分布12种。从种类组成上看各区域间差别不大,有草区种类略多一点。优势种为:印西头鳃蚓 *Branchiodrilus horiensis*、苏氏尾鳃蚓 *Branchiura sowerbyi*、霍甫水丝蚓 *Limnodrilus hoffmeisteri*、铜锈环棱螺 *Bellamya aeruginosa*、长角涵螺 *Alocinma longicornis*、椭圆萝卜螺 *Radix swinhoei*、雕翅摇蚊 *Glyptotendipe*、细长摇蚊 *Tendipes attenuatus*、粗腹摇蚊 *Pelopia* 等。数量和生物量的分析结果见表4。

表4 各试验区底栖动物现存量\*

Tab. 4 Standing crop of zoobenthos in different regions

试验区	1#养鱼区	伊乐藻种植区	无草区	8#养鱼区	围隔外对照区
环节动物	$\frac{73}{0.786}$	$\frac{59}{0.575}$	$\frac{73}{1.453}$	$\frac{113}{2.390}$	$\frac{56}{1.566}$
软体动物	$\frac{40}{9.773}$	$\frac{80}{34.822}$	$\frac{29}{12.065}$	$\frac{104}{68.209}$	$\frac{58}{20.4822}$
节肢动物	$\frac{69}{0.350}$	$\frac{78}{0.673}$	$\frac{115}{0.688}$	$\frac{52}{0.170}$	$\frac{52}{0.364}$
合计	$\frac{182}{10.909}$	$\frac{217}{36.070}$	$\frac{217}{14.206}$	$\frac{269}{70.769}$	$\frac{166}{22.412}$

\* 表中数据系平均数;分子(数量, ind./m<sup>2</sup>), 分母(生物量, mg/m<sup>2</sup>)。

从表4可以看出:8号采样点底栖动物的平均密度和生物量最高,分别为269ind./m<sup>2</sup>和70.769mg/m<sup>2</sup>,而1号采样点最低,分别为182ind./m<sup>2</sup>和10.909mg/m<sup>2</sup>,有草区和无草区密度一样,都为217ind./m<sup>2</sup>,但生物量前者高于后者一倍多。这一结果虽很难解释,但从水栖寡毛类的数量上看,两个养鱼区和无草区均高于有草区和对照区,说明这三个区域的有机污染状况比后两个区域要差一些。

根据 Wilhm<sup>[4]</sup>和黄玉瑶<sup>[5]</sup>物种多样性指数方法来评价和分析本试验区水质状况。

$$d = - \sum_{i=1}^S (n_i/N) \log_2(n_i/N)$$

式中,S为种类数;n<sub>i</sub>为样品第i种的个体数;N为样品中各种生物的总个数。当d>3.0,清洁;d=2.0-3.0,轻污;d=1.0-2.0,中污;d=0-1.0,重污;d=0(无任何底栖动物),严重

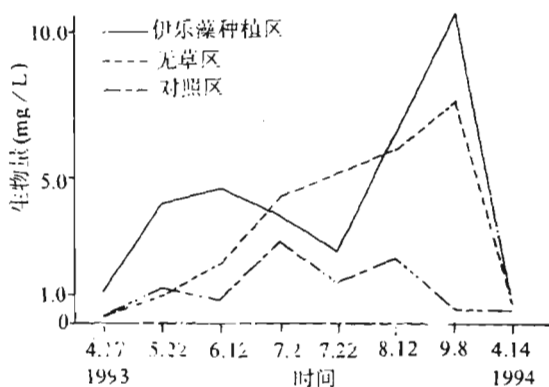


图8 浮游动物生物量的变化

Fig. 8 Biomass changes of zooplankton

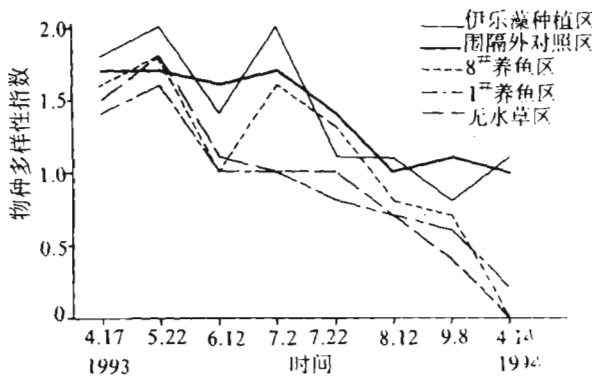


图9 底栖动物的物种多样性指数变化

Fig. 9 Changes of species diversity indices of zoobenthos

污染。8次采样分析和计算结果见图9。

从图9可以看出,东太湖水质属中度污染,围隔外对照区多样性指数始终在1.0—2.0之间波动。其它区域在1993年7月22日以前,除1号采样点多样性指数在0.8外,其d值都在1.0—2.0之间。说明养鱼带来的有机污染在前期对底栖动物群落的影响不大,但从8月12日以后,两个养鱼区和无草区d值均在1.0以下,属于重污染类型水质。而有草区在9月8日d值才降到0.8,属重污染水质,但于翌年4月14日又恢复到1.0以上,同属于实验开始时的中度污染水质。

这一结果表明,水生植被不仅可以延缓养鱼带来的污染影响,同时当养鱼结束时又能及时恢复到原有水质,使水域环境得到有效的改善。

## 2.5 有机碎屑

通过对悬浮颗粒有机碎屑的7次采样分析,其现存量及碳、氮、磷量的结果见表5。

表5 悬浮有机碎屑现存量及碳、氮、磷量

Tab. 5 Content of particulate organic detritus and C, N, P in different regions

时间	采样点	现存量* (mg/L)	C(mg/L)	N(mg/L)	P(mg/L)	C/N	C/P
1993-05-06	有草区	3.663	1.0159	0.1325	0.0381	7.67	26.66
	无草区	1.830	1.3809	0.1928	0.0576	7.16	23.97
	对照区	5.477	1.8100	0.2577	0.0554	7.02	32.67
1993-05-22	有草区	1.052	0.5494	0.0291	0.0081	18.88	67.83
	无草区	0.245	0.2317	0.0157	0.0116	14.76	19.97
	对照区	0.490	0.0973	0.0029	0.0049	33.55	19.86
1993-06-11	有草区	2.206	0.3496	0.0031	0.0333	112.77	10.50
	无草区	2.743	0.5152	0.0335	0.0348	15.38	14.80
	对照区	2.366	0.3693	0.0184	0.0253	20.07	14.60
1993-07-02	有草区	3.370	0.2626	0.0136	0.0175	19.31	15.01
	无草区	4.888	0.8742	0.0551	0.0469	15.87	18.64
	对照区	1.964	0.3209	0.0115	0.0142	27.90	22.60
1993-07-22	有草区	3.459	1.3383	0.1275	0.0469	10.50	28.54
	无草区	3.140	0.9410	0.0840	0.0446	11.20	21.10
	对照区	2.454	0.4893	0.0411	0.0175	11.91	27.96
1993-08-12	有草区	1.298	0.5027	0.0070	0.0355	71.81	14.16
	无草区	1.846	0.6446	0.0067	0.0526	96.21	12.25
	对照区	1.750	0.2015	0.0041	0.0179	49.15	11.26
1993-09-08	有草区	0.158	2.7775	0.2720	0.0551	10.21	50.41
	无草区	2.175	1.7986	0.1446	0.1257	12.44	14.31
	对照区	2.546	1.0105	0.1554	0.0614	6.50	16.46
平均	有草区	2.172	0.9709	0.0835	0.0335	35.88	30.44
	无草区	2.410	0.9123	0.0761	0.0534	24.72	17.86
	对照区	2.435	0.6141	0.0702	0.0281	22.30	20.77

\* 无灰干重。

从表 5 可以看出,三个不同水域 颗粒有机碎屑平均现存量差异不大。有机碎屑的碳、氮量在有草区和无草区中高于对照区,而其中有草区又高于无草区。有机碎屑的磷以无草区最高,其次为有草区,对照区最低,这一结果表明,有草区由于生长着伊乐藻,对水体中的磷有明显的吸收作用,使养鱼带来的富营养状况得到改善。而植物碎屑中的氮很难分解,使有草区中有机碎屑氮高于无草区。

有机碎屑 C/N 和 C/P 值是评价有机碎屑营养价值的指标,从分析结果看,三个区域的比率都较高,而且变化无一定规律,尤其有草区更为明显,这与生物群落组成和种群演替有关,这也显示出生物多样性指数较高,而无草区要低于有草区,这也与浮游生物的分析结果一致。

再从颗粒有机物的沉降速率上看(表 6),养鱼对有草区和无草区影响更为明显。

表 6 水柱颗粒有机物的沉降速率\*

Tab. 6 Depositional rate of particulate organic matters in different regions

时间	采样点	颗粒有机物(干)	颗粒有机氮	颗粒有机磷	颗粒有机物含量(%)
1993-05-06	有草区	1.41	0.0384	0.0101	45.80
	无草区	5.36	0.0557	0.0095	61.70
	对照区	3.28	0.0403	0.0077	73.60
1993-05-22	有草区	3.62	0.0416	0.0105	66.30
	无草区	4.10	0.0455	0.0179	51.40
	对照区	11.15	0.1371	0.0749	70.90
1993-06-11	有草区	4.23	0.1375	0.0452	61.15
	无草区	46.96	0.6856	0.1024	14.21
	对照区	2.24	0.0802	0.0162	41.67
1993-07-02	有草区	4.79	0.1044	0.0277	22.81
	无草区	31.52	0.5989	0.0652	13.98
	对照区	10.46	0.2427	0.0467	19.83
1993-07-22	有草区	6.97	0.1185	0.0370	22.85
	无草区	48.19	0.2747	0.0998	12.69
	对照区	7.38	0.0679	0.0167	22.16
1993-08-12	有草区	11.25	0.2948	0.0831	26.05
	无草区	19.76	0.4288	0.1757	29.04
	对照区	8.70	0.1984	0.0503	28.49
1993-09-08	有草区	2.92	0.1299	0.0723	56.35
	无草区	19.66	0.4030	0.1551	34.18
	对照区	1.85	0.0825	0.0129	30.00
平均	有草区	5.03	0.1236	0.0408	43.04
	无草区	25.08	0.3560	0.0894	31.03
	对照区	6.44	0.1213	0.0322	40.95

\* 除颗粒有机物含量外,其它单位均为  $g/(m^2 \cdot d)$ 。

由表 6 可以看出,无草区颗粒有机物的平均沉降速率为有草区的 5 倍,氮、磷为 1 倍多,而有机物含量低于有草区。这说明有草区中的伊乐藻植被对从养鱼区扩散出来的污染物有着明显的阻拦、吸附、过滤和吸收作用,同时也有效地阻止了底泥的再悬浮。有草区沉降的颗粒有机物主要是草屑,由于水生维管束植物的作用,沉降物中无机成分要低于无草区。而无草区的沉降物除了养鱼扩散而来的残饵及粪便外,还有再悬浮的底泥和一些浮游生物,因而

无机成份含量较高。以上结果表明,人工种植的伊乐藻植被对颗粒有机物的沉降以及悬浮颗粒有机碎屑都有着很大的影响,对水质的保护起到积极的作用。

### 3 结语

(1) 异养细菌数量由养鱼区向外呈现出逐渐减少的趋势,在有草区平均减少 88.9%,在无草区平均减少 73.7%。大肠菌群数量变化规律与异养细菌相似,在有草区平均减少 75.3%,在无草区平均减少 66.7%。

(2) 浮游植物主要表现在数量和生物量的差异,有草区平均数量为  $4.61 \times 10^4$  个/L,平均生物量为 7.1776mg/L,而无草区为  $6.07 \times 10^4$  个/L 和 8.3103mg/L。

(3) 浮游动物在有草区有 92 种,平均数量为 4.752ind./L,平均生物量为 4.868mg/L。而在无草区仅有 60 种,平均数量为 6.749ind./L,平均生物量为 3.9407mg/L。说明无草区种类趋于贫乏,而且小型种类在浮游动物中比重增加。有草区无论从群落结构的稳定性,还是从物种多样性都优于无草区。

(4) 底栖动物在有草区有 19 种,无草区 14 种。两个区域的密度虽一样,但生物量和群落组成却有很大差别。环节动物(主要为水栖寡毛类)在有草区平均密度为 59ind./m<sup>2</sup>,生物量为 0.575mg/m<sup>2</sup>,无草区为 73ind./m<sup>2</sup> 和 1.453mg/m<sup>2</sup>,软体动物在有草区平均密度为 80ind./m<sup>2</sup>,平均生物量为 34.822mg/m<sup>2</sup>,无草区为 29ind./m<sup>2</sup> 和 12.065mg/m<sup>2</sup>;节肢动物(主要为摇蚊幼虫)在有草区平均密度为 78ind./m<sup>2</sup>,平均生物量为 0.673mg/m<sup>2</sup>,无草区为 115ind./m<sup>2</sup> 和 0.688mg/m<sup>2</sup>。从这里可以说明无草区的有机污染状况比有草区要严重。根据物种多样性指数分析,无草区在 7 月 22 日以后,其 *d* 值一直处在小于 1 状态,属重污染水质。而有草区仅在 9 月 8 日其 *d* 值小于 1,以后又恢复到大于 1 状态,基本保持在中污染水质。

(5) 悬浮颗粒有机碎屑主要表现在磷含量方面,有草区为 0.035mg/L,无草区为 0.053mg/L。在颗粒有机物的沉降速率方面,两个区域差别很大。无草区颗粒有机物的平均沉降速率为有草区的 5 倍,氮、磷为 1 倍多。

由此不难看出,在一定范围内人工种植伊乐藻对养鱼带来的水域污染有着积极的控制作用。它不仅使水体得到净化、水质得到恢复,而且也保证了水生生物群落结构的稳定和物种的多样性。

为考虑到今后推广伊乐藻—草鱼圈养技术,进一步提高经济效益,可充分利用有草区中天然饵料。根据鱼产潜力的估算,浮游植物可提供鱼产力 106.5kg/hm<sup>2</sup>,浮游动物为 69kg/hm<sup>2</sup>,底栖动物为 18kg/hm<sup>2</sup> 这里需补充一点的是螺类资源量。由于底栖动物的采集仅在底泥部分,而还有很多螺类栖息在水草上。根据取样分析,水草中检出椭圆萝卜螺平均 96ind./m<sup>2</sup>,重 7.97g/m<sup>2</sup>,环棱螺 166ind./m<sup>2</sup>,重 30.1g/m<sup>2</sup>;扁卷螺 2ind./m<sup>2</sup>;重 0.05g/m<sup>2</sup>,此外还检出米虾 8.1g/m<sup>2</sup>,如果计算这部分的现存量,则可提供鱼产力为 231kg/hm<sup>2</sup>,由此可知,在有草区适当投放一些鲢、鳙、鲤、鲫鱼可自然获得 420kg/hm<sup>2</sup> 左右的鱼产量,增加其经济效益。

所以开展伊乐藻—草鱼圈养是获得经济效益和生态效益的综合统一体,是发展生态渔业的一条有效途径。

## 参 考 文 献

- 1 施 铭,刘宏钢. 淀山湖网箱养鱼及其对水质的影响. 农村生态环境, 1989, 19(3): 7-11
- 2 Zhou Wanping, Wu Qinglong, Gao Guang. Impacts of penculture on water quality and their control. In: Proceedings of Symposium on Environmental Protection and Lake Ecosystem. Beijing: China Science and Technology Press, 1994. 201-206
- 3 何志辉. 淡水浮游生物的生物量. 动物学杂志, 1979, (4): 53-56
- 4 Wilhm J L and Dorris T C. Biological parameters for water quality criteria. *Bioscience*, 1968, 18: 477
- 5 黄玉瑶, 滕德兴. 利用大型无脊椎动物种类多样性指数检测河污染. 动物学集刊, 1983, (6): 97

## CHANGES AND EFFECTS OF HYDROBIOS IN THE COMPOUND ECOSYSTEM OF *ELODEA*- GRASS CARP PEN FARMING

Guo Xiaoming Gao Guang Wei Yun Zhou Wanping

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

### Abstract

"*Elodea*-grass carp pen farming" is a relatively independent subsystem artificially established in the lake, in which the grass carp feeds on *Elodea Nattallii*, the excretory matters of fish transform into nutrient salts, and nutrient salts transform into the circulatory system of *Elodea*. The transformed organic matters are moved out of the system through fish and there are no extra organic matters remained in the system, so fish-farming environment is optimized. Based on the above-mentioned, we selected East Taihu lake as the experiment base and established a semi-closed experiment region, in which there are two fish-farming districts, *Elodea*-growing district and no-weed district.

The changes of bacteria, phytoplankton, zooplankton, zoobenthos and organic detritus have been analysed. The results show:

(1) The density of heterotrophic bacteria decreases gradually from fish-farming district to outside, decrease 88.9% in *Elodea*-growing district and 73.9% in no-weed district. The amount of coliform group is similar to heterotrophic bacteria, decreases 75.3% and 66.7% respectively in both districts.

(2) The average density and biomass of phytoplankton are  $4\ 612.187 \times 10^4$  ind./L and 7.1776mg/L in *Elodea*-growing district and  $6\ 070.853 \times 10^4$  ind./L and 8.3108mg/L in no -

weed district respectively.

(3) 92 and 60 species of zooplankton (including Rotifera, Cladocera and Copepoda) have been found in *Elodea*-growing and no-weed district, respectively. The average density and biomass are 4 752 ind./L and 4.868mg/L and 6 749 ind./L and 3.9407mg/L respectively.

(4) 19 and 14 species of zoobenthos (including Annelida, Mollusca and Arthropoda) have been found respectively in the two districts. Although the densities are the same in two districts, the compositions of community and biomass are different. The average density and biomass of Annelida (mainly oligochaete) are 59 ind./m<sup>2</sup> and 0.575mg/m<sup>2</sup>, 73 ind./m<sup>2</sup> and 1.453mg/m<sup>2</sup>; Mollusca are 80 ind./m<sup>2</sup> and 34.322mg/m<sup>2</sup>, 29 ind./m<sup>2</sup> and 12.065mg/m<sup>2</sup>; Arthropoda (mainly chironomid larvae) are 78 ind./m<sup>2</sup> and 5.673mg/m<sup>2</sup>, 115 ind./m<sup>2</sup> and 0.688mg/m<sup>2</sup> in two districts respectively.

(5) According to the average depositional rate of organic matters, it is as 5 times in no-weed district as that in *Elodea*-growing district.

Due to the macrophyte, the buffer capacity effected by environment is strengthened in the *Elodea*-growing district. Not only is the water body purified and the water quality recovered, but also the community structure of hydrobios is more stable and species diversity is increased. Eutrophication is also controled effectively. So, *Elodea*-grass carp pen farming is a optimum way of eco-fishery development.

**Key Words** *Elodea Nuttallii*, fish-farming, environment consequence, bacteria, phytoplankton, zooplankton, zoobenthos, organic detritus