

池塘饲养鱼类优化结构及其增产原理

II. 池塘主养鱼类合理群落结构及其能量转换效率

陈立侨* 陈英鸿 倪达书

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

提 要

池塘对比试验(1987—1989)和室内补充试验结果证明了“一草养三鲢”的常规混养法不能充分发挥高产池中草鱼和鲢鳙鱼种间的协调互利作用,使池塘能量转换效率偏低,这主要由于鲢鳙鱼密度太大,饵料不足,需经常过量施肥,易造成水质恶化,诱使草鱼体弱多病诱致。依草鱼摄食后所排粪量的供饵能力和作用于滤食性鱼的主要能流途径,将草鱼与滤食性鱼种放养重量调整为1.5—2.5:1,以青料为主,适当配喂颗粒饲料,其主体鱼的种群生长率、池塘能量转换效率均明显高于常规饲养法。池塘内不增施外源肥料,青、精饲料输入量保持与草鱼生物学特性相适应的情况下,每生产单位重量的草鱼,可带动生产40—80%重量的鲢鳙。

关键词 池塘养鱼, 鱼类群落结构, 能量转换效率

以鲢鳙鱼和草鱼为主,“一草养三鲢”是我国的主要混养方式之一^[1]。实践证明,这种混养方式是符合生态学原理的,但其种间结构在高产鱼池中并不恰当,因为在饲养鱼的群落内难以达到理想的种间协调关系。从理论上分析,“一草”摄食的饲料经消化吸收后排出的粪便,直接或间接地供“三鲢(鳙)”利用,在食物链上,它们是以少带多的供求关系。由于鲢鳙鱼饵料的供应不足,必然要从池塘系统外增输物质和能量(主是大量施肥),其结果必将引起水体环境的改变,使之与草鱼本身的生物学特性不相适应,造成草鱼和滤食性鱼在生活习性和生存空间上产生一定程度的不协调。池养条件下,两类优势种群的互利关系不能得到统一和发挥,从而影响池塘生态系统的能量转换效率和鱼产量的提高。

近年来,我国精养池中吃食性鱼类(feeding fish)数量有所增加,但并未摆脱“三池合一”的模式^[2]。所以,在这一基本特性条件下,探讨草鱼与鲢鳙鱼种间的互利关系和合理结构,以及该类型池塘中物质和能量的投入、产出特点,了解池塘动力学规律,对改进养殖技术,具有重要的实际意义。

* 现在上海华东师范大学生物系工作。
1990年11月21日收到。

材 料 与 方 法

试验用池及鱼种放养 成鱼养殖的试验地点、时间及鱼种的预处理同试验 I^[3], 共用试验池(I)8口(0.880ha), 对照池(II)4口(0.453ha)和常规池两口(2.600ha), 鱼种放养情况详见表1。试验池以青料为主, 合理搭配颗粒饲料, 采取“均匀递增”的投喂方法^①。青料全年投饲量为 $1.05 \times 10^5 - 1.20 \times 10^5 \text{kg/ha}$, 颗粒饲料约为 $1.20 \times 10^4 \text{kg/ha}$; 对照池、常规池的投饲、施肥按当地的常规饲养法; 青、精饲料年投喂量分别为 4.05×10^4 、 $7.95 \times 10^3 \text{kg/ha}$, 并追施 $6 \times 10^2 - 9 \times 10^2 \text{kg/ha}$ 的氮肥和二倍于氮肥的磷肥(有机肥则为 $7.5 \times 10^4 \text{kg/ha}$)。

表1 鱼种放养表^A(东西湖)

Tab.1 Stocking details of each species in ponds at Dongxihu.

种类 Species	密度(尾/ha)Density			百分比(%)Percentage			重 量 Weight(kg)							
	I	II	III	I	II	III	I-1 ^B	I-2 ^B	I-1 ^C	I-2 ^C	II ^B	II ^D	III ^B	III ^D
草 鱼	7500	3000	2700	50	20	15	315	375	115.5	105	234	427.5	840	615
鲢 鱼	3000	7500	9000	20	50	50	270	270	79.5	90	967.5	1230	787.5	900
鳙 鱼	1500	1500	2700	10	10	15	150	135	40.5	45	450	255	243	180
团头鲂	1050	1050	1260	7	7	7	42	42			91.5	90	51	60
鳊 鱼	1050	1050	1260	7	7	7	10.5	10.5			100.5	90	51	60
鲫 鱼	900	900	1080	6	6	6	10.5	10.5			70.5	75	15	30
合 计	15000	15000	18000	100	100	100	798	843	235.5	240	1914	2167.5	1987.5	1845

A 鱼种放养时间; 试验组(I)为当年8—9月, 对照组(II)、常规组(III)为次年3月; B 1987(I-1、I-2)、1988(I、II)鱼种放养量; C 1988年8月套养的当年鱼种; D 1989年的鱼种放养量。

测定项目 初级生产力的测定采用叶绿素法和黑白瓶法^[4-6]; 每30—40d 抽样测定鱼的生长情况; 水质分析按常规测定法, 共测定了溶氧、有机耗氧量、三氮等12项水化学指标; 饲料的总能用热量计直接测定燃烧能; 根据粪便中氮、磷(P_2O_5)的含量, 将其折算成等量的氮肥(硫酸铵)、磷肥(过磷酸钙)和单位重量粪便的能量值(J/kg); 以投入、产出能计算池塘系统的能量转换效率; 太阳能的投入主要根据1989年用黑白瓶对各组鱼池中初级生产力测定结果计算而得; 各种饲料、肥料及鱼的能量折算系数和能量的转换效率、能量消耗的计算参考有关文献采用的方法。

结 果

草鱼的摄食与排粪量 室内水族箱饲养条件下(水温 $23.1 - 30.7^\circ\text{C}$), 当投喂量(湿重)分别为鱼体重的20、30、40、50%时, 草鱼种(73—209g/尾)对苏丹草(幼苗期)的平均利用率(摄食量/投喂量)为90%, 排粪率(排粪量/摄食量)24.15%。经测定, 每100g 草鱼粪平均含氮2.5522g, P_2O_5 0.4260g。若池塘中投喂的苏丹草被鱼全部利用, 按此推算, 则各组池青料投喂量和草鱼排粪量的详细结果如表2所示。

① 陈立侨等, 1990, 草鱼适宜生长的食物结构及其需求量(待发表)。

表 2 草鱼青饲料年摄食量和排粪量的测定结果(kg/ha)

Tab. 2 Relationship between annual greenfeed intake and faecal production by grass carp.

年份 Time	组别 Group	青饲料 Green feed		粪 量(干重) Faecal Production	粪中氮含量 N content of faeces	粪中磷(P ₂ O ₅) 量 P ₂ O ₅ content of faeces	相当于化肥量 Equivalent to inorganic fertilizer	
		鲜 重 Wet weight	干 重 Dry weight				硫酸铵	过磷酸钙
1988	I	95265±8865	11115±1035	2685±255	68.55±6.51	11.40±1.05	342.75±32.55	57.00±5.25
	II	23940±8580	2790±1006	675±240	17.25±6.15	3.00±0.90	86.25±30.75	15.00±4.50
1989	I	107820±4680	12570±540	3030±135	77.40±3.45	12.91±0.45	387.00±17.25	64.55±2.25
	II	75000±10605	8745±1230	2115±300	54.00±7.65	9.00±1.20	270.00±38.25	45.00±6.00
	III	41250	4815	1155	29.48	4.95	147.40	24.75

初级生产力的比较 池塘中初级生产力逐月变化幅度较小,5—10月的测定结果约占全年的70—80%,取75%计算,1989年水柱年毛产量的大小顺序为Ⅲ>I>II,年耗氧量为Ⅲ>II>I,水柱年净产量则II、Ⅲ组较接近,均低于I组(表3)。1988年对各池组叶绿素含量的测定与黑白瓶测定结果相似。全年叶绿素的平均含量($\mu\text{g/L}$):Ⅲ(44.63)>II(42.51)>I(39.81),但各组之间无显著性差异($p>0.05$)。

表 3 1989年各月水柱产氧量和耗氧量(MJ/m²·月)

Tab. 3 Monthly oxygen production and consumption of water column of 1989.

月 份 Month	水柱毛产量 Gross production of water column			水柱耗氧量 Oxygen consumption of water column			水柱净产量 Net production of water column		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
5	4.25	3.67	5.06	2.08	2.02	3.04	2.17	1.65	2.02
6	5.85	4.78	4.77	3.22	2.72	3.01	2.63	2.06	1.76
7	8.37	8.02	8.49	5.36	5.05	6.79	3.01	2.97	1.70
8	8.24	8.11	9.68	5.77	6.57	8.23	2.47	1.54	1.45
9	7.12	8.06	6.88	4.34	6.21	5.16	2.78	1.85	1.72
10	3.70	3.87	5.75	2.00	2.32	3.34	1.70	1.55	2.41
合计 Total	37.53	36.51	40.63	22.77	24.89	29.57	14.76	11.62	11.06
全 年 Whole year	50.04	48.68	54.17	30.36	33.19	39.43	19.68	15.49	14.75

鱼的生长 测定了各试验组草鱼、鲢鳙鱼及总体鱼年P/B系数(表4)。其中草鱼的年P/B系数I、II组相接近,均大于III组;鲢鳙鱼和总体鱼则I、III组接近,大于II组。各组的搭配鱼为团头鲂、丰鲤、异育银鲫,放养时平均重量分别是35、60、10g。11月份测定结果:各组搭配鱼的重量相差不大,团头鲂300—350g、丰鲤450—600g、异育银鲫200—250g。

对水环境及鱼病的影响 两年的水质分析表明,I组的铵态氮、亚硝酸氮、三氮总和、有机耗氧量平均值明显比II、III组低($p\leq 0.05$),而透明度、溶氧等则显著高于II、III组($p\leq 0.05$)(表5)。成鱼饲养的结果,I-2组草鱼的成活率为79.2%,与I-1组的87.6%较

接近,比Ⅰ、Ⅱ组分别提高 4.9%和 29.2%^①。

表 4 试验组、对照组和常规组鱼的年 P/B 系数

Tab. 4 Annual P/B coefficients of fish in experimental, control and routine fish ponds

组 别 Group	年 P/B 系数 Annual P/B coefficient					
	1988			1989		
	草 鱼	鲢鳙鱼	总体重	草 鱼	鲢鳙鱼	总体重
I	1.54	1.14	1.32	1.51	1.09	1.39
Ⅱ	1.66	1.10	1.15	1.51	0.93	1.09
Ⅲ	1.09	1.06	1.37	1.10	1.09	1.37

表 5 池塘主要水化因子测定值^①(1987—1989 年,东西湖)(mg/l)

Tab. 5 Chemical composition in the water from fish ponds at Dongxihu (1987—1989).

组 别 Group	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N	亚硝酸氮 NO ₂ ⁻ -N	三氮总和 TN	透明度(cm) Transparency	溶氧 D. O.	有机耗氧量 COD
I-1	0.159 c ^②	0.011 b	0.254 c	30 a	2.70 a	13.62 b
I-2	0.184 c	0.017 b	0.288 c	29 a	2.70 a	13.09 b
Ⅰ	0.269 b	0.022 a	0.363 b	23 b	1.96 a	14.20 b
Ⅱ	0.541 a	0.042 a	0.703 a	20 b	1.56 b	15.20 a

①Sampling time was 8:00(a.m); ②Means followed by different letters are significantly different from each other at 0.05 level.

能量效率和能量流 依 1989 年的投入和产出指标,计算出各试验组的毛产、净产的能量转换效率与耗能量(表 6)。

表 6 能量转换效率与能量消耗量(1989,东西湖)

Tab. 6 Estimated energy conversion efficiency and energy consumption based on the gross and net yields for the 1989 fish production at Dongxihu.

项 目 Items	毛 产 Gross yield			净 产 Net yield		
	I	Ⅱ	Ⅲ	I	Ⅱ	Ⅲ
能量转换效率 Energy conversion efficiency(%)						
总能 Total energy	6.09	4.99	3.67	5.05	3.61	2.97
光合能 Photosynthetic	10.85	8.09	5.76	8.99	5.85	4.66
生物能 Biological	14.48	13.82	10.56	12.01	10.00	8.54
生物能-工业能 Biological-industrial	13.89	13.01	10.13	11.52	9.41	8.19
能量消耗 Energy consumption (GJ/ton. fish)						
总能 Total energy	77.57	87.71	113.09	94.67	124.02	138.96
太阳能 Solar	43.55	54.08	72.08	53.16	76.47	88.57
生物能 Biological	32.63	31.68	39.33	39.82	44.79	48.33
生物能-工业能 Biological-industrial	34.01	33.63	41.01	41.51	47.55	50.39

I—Ⅲ组的主要能流如图 1 所示,其中主要不同之处是 I 组不含人工投施的肥料能,

① 陈立侨,1990,池养草鱼传染性疾病的系统防治(待发表)。

但通过全年的青料输入,草鱼摄食后排出的粪能约为 0.618 MJ/m^2 , II 组肥料能为 0.755 MJ/m^2 [0.324 (人工施肥) + 0.431 (粪能)], III 组则 3.114 MJ/m^2 [2.884 (人工施肥) + 0.230 (粪能)], 显然, III 组的肥料能比 I、II 组高得多。

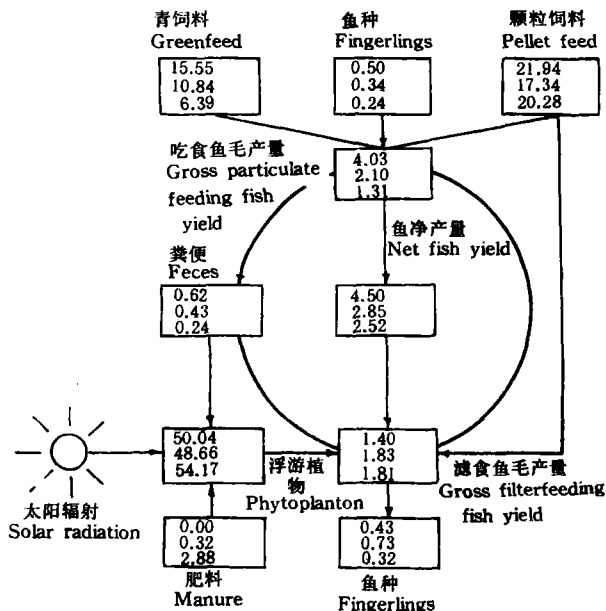


图1 试验池(I)、对照池(II)和常规池(III)年物质、能量流动图

Fig. 1 Annual flow of matter and energy in experimental (I), control (II) and routine fish ponds (III) (MJ/m^2)

框内的数据自上而下分别代表 I、II、III。

鱼产量的比较 1987—1988 年的试验结果: I 组平均毛产 9375 kg/ha , 较 II、III 组提高 25.8% 和 28.8%, I 组以草鱼为主的优质鱼占 63.4%, 而 II、III 组仅占 33.8% 和 31.4%。1988—1989 年试验中, I、II、III 组的毛产量平均分别为 11490、9000、7515 kg/ha 、净产量分别占毛产量的 82.71 和 81%。草鱼(含套养鱼种)的比例 I 组最高, 为 62%, II、III 组分别为 40% 和 16%, “吃食鱼”的比例 I 组达到 73%、II 组为 54%, III 组仅占 36%。

分析与讨论

1. 草鱼排粪量及其对鲢鳙鱼的供饵能力

草鱼对苏丹草的利用率较高, 如刈割时间得当, 几乎可被完全利用。按室内测定结果推算, 试验池年投草量为 $9.00 \times 10^4 - 1.05 \times 10^5 \text{ kg/ha}$, 草鱼摄食后, 约可排粪(干重) $2.55 \times 10^3 - 3.00 \times 10^3 \text{ kg/ha}$, 相当于向池中投放硫酸铵 $3.3 \times 10^2 - 3.9 \times 10^2 \text{ kg/ha}$, 普通过磷酸钙约 60 kg/ha 。当地常规饲养池中, 鲢鳙鱼的放养量、产量均占 60—70%, 每生产 1 kg 的滤食性鱼约需 0.25 kg 硫酸铵和 0.5 kg 过磷酸钙。本试验组滤食性鱼约占 30%, 按单产 $1.05 \times 10^4 \text{ kg/ha}$ 计算, 则草鱼摄食青料后的排粪量相当于向每公斤的滤食性鱼提供了

0.12kg 的硫酸铵和 0.02kg 过磷酸钙。即若草鱼粪折算成氮肥和磷肥,与常规池比较,氮肥的折算量约为常规池的 50%,磷肥则明显少于常规池。但是,草鱼粪作为有机肥,在池塘系统中的功能与无机肥差别很大,近年的研究表明,从有机肥到鱼产量之间可以通过三条能流途径^[7,8]:以腐屑形式被饵料动物或鱼直接摄食;形成有机质为细菌所利用,细菌再被鱼及饵料动物所食用;分解为营养盐类后,通过浮游植物、浮游动物到鱼类。草鱼对青料的摄食量很大,且其肠道较小,肠内又缺乏纤维素酶,通过肠消化后排出的粪便残渣多为 1—3mm² 的小块^[9],是试验池有机碎屑的主要组成部分。有研究者认为,鱼粪是难消化的植物细胞被鱼再度摄食,经过了第二次消化;鱼粪表面常常滋生大量细菌,这些细菌分泌的纤维素酶对食物消化起着一定的积极作用,是鱼类对纤维素酶缺乏的一种补偿和适应,故鲢鳙鱼对鱼粪的能量利用率较高^[10]。草鱼排粪在时间上的连续性和空间上的均匀分布,使鲢鳙鱼直接滤食鱼粪的比例远高于人工施有机肥,沉积的鱼粪较少。从能量转化效率和速度来看,上述第一、二条途径的转化率高于或接近 10%,远远高于第三条途径或无机肥的转化率。鱼粪对鲢鱼的营养价值,不仅取决于它的可消化性,还取决于鱼粪的营养价值及其在水中的丰度。在浮游生物丰度较小的试验池,随着水温上升,草鱼对青料的摄食量和排粪量增大,未被完全消化的鱼粪作为鲢鳙鱼的食料,其作用是不可低估的。

1988 年测定结果表明,常规组浮游植物生物量为 18.08mg/L,接近高产肥水池 20mg/L 的标准;对照组浮游植物生物量为 17.22mg/L;未施肥的试验组浮游植物生物量虽较低(16.0mg/L),但其含量仍在鲢鳙鱼最适食物密度 10—20mg/L 范围内^[11],且相对而言,鲢鳙鱼的现存量为高产肥水池的 1/3—1/2,可以认为,鱼粪碎屑加上浮游植物的生物量完全能满足鱼生长的需求。1989 年的测定结果,试验组对鲢鳙鱼的供饵能力(浮游植物净产量)和常规组接近,略高于对照组。根据池塘的特点,5—10 月所测的初级生产力约占鱼类饲养期(3—11 月中旬)的 80—90%,以 85% 计算,则试验组、对照组和常规组毛产氧量分别为 42645、41475、和 46170kg/ha·年,根据能量估算法^[12],计算得鲢鳙鱼的生产潜力:试验组 2340kg(1485kg 鲢+855kg 鳙),对照组 2160kg(1605kg 鲢+555kg 鳙),常规组 2400kg(1785kg 鲢+615kg 鳙)。理论上,试验组、对照组和常规组每公顷水体鲢鳙鱼的生产潜力,加上各自的实际产量:2550kg/ha(试验组)、2940kg/ha(对照组)、3945kg/ha(常规组),则鲢鳙鱼的总生产力应为 4890、5100、6345kg/ha。据上述鱼产量的结果可知,在不施肥的情况下,以青料、精料合理搭配投喂,每生产 1kg 草鱼,实际上约带动生产 0.44kg 滤食性鱼类,若按滤食性鱼的全部增产潜力计算,最多约可生产 0.8kg 滤食性鱼。

2. 主体鱼的群体增长率

草鱼粪作用于鲢鳙鱼的主要能流途径和供饵能力,是草鱼和鲢鳙鱼种群间搭配是否合理的依据之一;而主体鱼之间对生长的相互促进,则是对种间结构合理性的检验。

从整个生长期测定结果来看,试验组草鱼的年 P/B 系数为 1.51—1.54,和对照组 1.51—1.66 相近,均比常规组(1.09—1.10)高,但试验组草鱼的种群密度是对照组、常规组的 2 倍以上,所以,增长率相近时,试验组的种群增重量则明显高于其它两组。鲢鳙鱼的种群增长率,试验组的年 P/B 系数最高,平均为 1.11,常规组 1.08,对照组 1.01。据原苏联乌克兰地区与鲤混养的鲢鳙鱼年 P/B 系数分别为 1.05 和 1.02;我国高产池塘鲢鳙鱼

的年 P/B 系数在 1.00—1.75 之间,月 P/B 系数为 0.03—0.76,相比之下,本试验测定的月 P/B 系数(0.021—0.235)比报道的结果偏低,这与轮捕所致的偏差和放养的鱼种规格较大(100—200g/尾)有关。

3. 饲养鱼类种间结构、管理措施对水环境和鱼病的影响

草鱼、鲢鳙鱼种间结构和相应管理措施的改变,必然会引起水环境特征的变化,直接或间接地影响鱼类的生理功能。已有的研究表明,各项理化因子中,透明度、溶氧、有机耗氧量、亚硝酸盐和氨等与鱼病的发生有密切的关系^[13]。以鲢鳙鱼为主体鱼的常规池中,全年约需追施氮肥 $9 \times 10^2 - 1.125 \times 10^3 \text{ kg/ha}$ 和 2 倍于氮肥的磷肥(或施有机粪肥 $6 \times 10^4 - 7.5 \times 10^4 \text{ kg/ha}$),补充的结果,改变了水体的理化特性,使之与草鱼的生物学特性不相适应,易削弱草鱼的体质和抗病力。同时,耗氧因子的增加,透明度下降,氨态氮、亚硝酸盐氮上升等不利因素均有利于病原体的滋生,感染鱼体而造成疾病流行。试验组主养草鱼,饲料的投喂根据饲料组成、季节变化等,随鱼的生长“均匀递增”,将整个饲养期划分为“冬前育肥期”、“越冬期”、“小生长期”和“大生长期”四个阶段,各阶段青料、精料的搭配比例分别为 3—4 : 1、全精、10 : 1 和 13 : 1,既满足了草鱼的营养需求,又可避免因饲料过量而败坏水质。同时,鲢鳙、鲤等鱼的合理混养,可控制饵料生物过度繁殖,消除鱼粪碎屑,促进池中有机物质的分解、加速物质的良性循环,有效地预防鱼病的爆发流行。

4. 不同混养类型池塘能量转换效率及鱼产量的评价

以草鱼为优势种群的试验组,总能毛产、净产转换系数是对照组、常规组的 1.2—1.7 倍。试验组的生物能-工业能毛产转换效率 13.89%,能量转化效率是较高的。对光合能的毛产转换效率为 10.85%,高于对照组、常规组和国外报道的养鲤池或鲢鳙鱼为主鱼池的转化效率^[14]、试验组、对照组的吨鱼总能量消耗分别为 77.57GJ 和 87.71GJ,低于国内高产区的测定值,常规组则较之高 11.99GJ/t 鱼。对照组,尤其是常规组的总能转化效率比试验组低,吨鱼总能量消耗高于试验组,主要是由饲养鱼类的群落结构不同、草鱼和鲢鳙鱼生产性能的差别和管理措施相应改变所造成的。常规池所补充的有机能中,饲料被鱼直接摄食,肥料入池后到被鱼利用,环节较多,且有机质转入淤泥的量相当大。此外,常规池中溶氧状况不佳也是能量转化率偏低的原因之一,常规池因大量追肥,7—9 月鱼类生长旺季,因溶氧不足,鱼常处于“生态生长”状况。池中铵态氮平均值高达 0.541mg/L,推测高温情况下对硝化菌有明显抑制作用,对鱼类的正常生长将产生不良的影响。相比之下,试验组将草鱼与鲢鳙鱼的比例调整为(5—6):(3—4)(尾数)或(1.5—2.5):1(放养生物量),草鱼直接摄食青料后所排的粪便,在池中分布均匀,被鲢鳙鱼直接摄食的部分较多,或通过细菌分解后被鱼利用这两条途径,能量转化率亦较高。水质测定的结果,试验组上午 8:00 的溶氧一般在 2mg/L 以上,高温季节铵氮总量很少达到 0.5mg/L(平均 0.172mg/L)。这是因为试验组的饲料输入量适当,残饵少;加之鲢鳙鱼的合理搭配,促进了池塘的物质循环,在一定程度上改良了池塘水质,降低了鱼病所造成的损失。

在混养池中,鲢鳙鱼的最大鱼载力约为 260—600g/m² 之间。以草食性鱼类为主的混养类型中,草鱼的最大载鱼力问题,目前尚未见详细报道,估计潜力较大。本试验 1989 年试验组平均鱼产量为 3.69g/m²·d,分别是对照组、常规组的 1.48 倍和 1.54 倍,高于中欧、以色列高产养鲤池和印度混养池的年产量,和我国高产区珠江三角洲的水平相近。由

此可见,调整主体鱼草鱼和鲢鳙鱼的结构和相应的管理措施,在提高能量转换率的同时,亦提高了鱼产量和经济效益。

参 考 文 献

- [1] 张扬宗等主编. 中国池塘养鱼学. 北京: 科学出版社, 1989.
- [2] Li Sifa. Energy structure and efficiency in a typical Chinese integrated fish farm. *Aquaculture*, 1987, **65**: 105—118.
- [3] 陈立侨等. 池塘饲养鱼类优化结构及其增产原理 I. 池塘越冬鱼种的生物学特性. *水生生物学报*, 1993, **17**(2): 121—130.
- [4] 中国科学院水生生物研究所. 淡水渔业增产新技术. 南昌: 江西科学技术出版社, 1988: 545—609.
- [5] 王建等. 浮游植物叶绿素与脱镁叶绿素的测定方法. *武汉植物学研究*, 1984, **2**(2): 321—328.
- [6] 王骥等. 浮游植物的叶绿素、生物量、生产量相互换算中的若干问题. *武汉植物学研究*, 1984, **2**(2): 249—258.
- [7] Behrends L L et al. Comparison of two methods of using liquid swine manure as an organic fertilizer in the production of filterfeeding fish. *Aquaculture*, 1980, **20**: 147—153.
- [8] Reynolds CS. The ecology of freshwater phytoplankton. London. Cambridge University Press, 1984.
- [9] Hickling, C. E.. On the feeding process in the white amur, (*Ctenopharyngodon idella* Val.). *J. Zool.*, 1966, 148: 408—419.
- [10] 陈少莲等. 鲢鳙鱼对鱼类消化利用的研究. *水生生物学报*, 1989, **13**(3): 250—258.
- [11] 雷衍之等. 无锡市河埒口高产鱼池水质研究 I. 水化学和初级生产力. *水产学报*, 1983, **7**(3): 185—199.
- [12] 王骥等. 用浮游植物的生产量估算武昌东湖鲢鳙生产潜力与鱼种放养量的探讨. *水产学报*, 1981, **5**(4): 343—350.
- [13] 陈月英等. 草鱼(*Ctenopharyngodon idella* Val.) 出血病与生态环境的关系. *生态学报*, 1988, **8**(3): 242—248.
- [14] I B P. The functioning of freshwater ecosystems. 22. London: Cambridge University Press, 1980.

THE RATIONAL DESIGN OF POND FISH CULTURE WITH REFERENCE TO THE PRINCIPLES OF YIELD INCREASE

I. Rational structure and energy conversion efficiency of the community of major cultured fishes in ponds

Chen Liqiao, Chen Yinghong and Ni Dashu

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan 430072)

Abstract

Pond culture experiments (1987—1989) and indoor supplemental experiments showed that the commonly used stocking ratio of 1 grass carp to 3 filter-feeding fish in polyculture systems fails to fully utilize the interspecific benefits among the grass carp, silver carp and bighead carp, resulting in a low energy conversion efficiency in the pond system. Because of the low food availability caused by high densities of silver carp and bighead carp, over-fertilization is frequently practised, resulting in deterioration of water quality and diseases and poor condition in the grass carp. Based on the food-supply potential of the feces produced by grass

carp, and the energy flow pathway acting on the filter-feeding fish, the weight ratio of stocked grass carp to filter-feeding fish was adjusted to $(1.5-2.5) : 1$. Green plants were used as the major food, supplemented with pellet feeds. The growth rates of major cultured fishes and energy conversion efficiency of the pond were apparently higher than those in ponds using routine culture methods. With no exogenous fertilization and suitable green and pellet feed inputs in accordance with the biological characters of the grass carp, each unit weight of grass carp produced could yield 40—80% of its weight of filterfeeding fishes.

Key words Pond pisciculture, Community design of cultured fishes, Energy conversion efficiency