

# 不同养殖结构鱼塘能量生态学研究

谷孝鸿 胡文英 陈伟民

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

**摘 要** 本文从养鱼池塘生态系统能量利用各环节, 分析了两种不同养殖结构鱼塘的生态学能量利用效率。主养草食性鱼类池塘, 其输入的总补助能、光合能、生物能的转换效率分别为 9.86%、6.92%、10.10%; 其生产吨鱼消耗的总补助能、光合能、生物能分别为 46.64GJ、66.46GJ、45.54GJ。而对于主养滤食性鲢、鳙的池塘, 其对应的指标分别为 8.43%、3.75%、8.66%、46.99GJ、105.52GJ、45.73GJ。由于池塘生产结构的差异, 滤食性鲢、鳙对太阳能的利用率在不同池塘中有差异, 但从初级生产力到滤食性鱼类产量其净转换效率在不同养殖结构池塘中基本相同, 主养草食性鱼类池塘为 1.45%; 主养滤食性鲢、鳙的池塘为 1.43%。根据生态—经济综合指标 EY 值判断, 主养草食性鱼类的池塘生产方式优于以滤食性鱼类为主的生产方式。

**关键词** 养殖结构, 鱼塘, 能量, 生态学

生态系统中能量利用率的高低是衡量系统稳定、持续发展的重要标志之一。缩短食物链、减少能流环节损失、提高能量利用效率是池塘养鱼的主要措施和目标。传统的养鱼池塘是一个多功能的生态系统, 即养鱼池塘不只是鱼类的生活场所, 同时也是天然饵料的培育场所, 又是有机物质氧化—还原被转化再利用的场所。随着市场消费结构的变化, 池塘养鱼发展趋势也逐渐改传统的主养滤食性鱼类为主养吃食性鱼类。太阳能作为系统输入的主能源, 占总输入的很大部分, 作为综合养殖的池塘, 应考虑太阳能的最大充分利用。

1987 年开始, 本所在山东省禹城市辛店洼, 利用渍涝洼地改造形成的连片鱼塘中进行立体综合养殖。过去, 习惯以单位面积产量高低作为池塘养鱼优劣的主要评价指标, 往往成本投入高、鱼产量高而经济效益低, 同时池塘生态系统的能量利用及转化效率也低。

本文根据鱼塘生态系统中的物质循环及能量流动, 初步探讨主养草鱼、主养鲢、鳙的鱼塘各环节能量转换效率, 为不断完善鱼塘的养殖结构, 充分发挥鱼塘生态系统功能提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地区自然概况

禹城市辛店试验渔场是渔、果、农综合经营的养殖场。禹城市地处东径  $116^{\circ}26' \sim 116^{\circ}45'$ , 北纬  $36^{\circ}40' \sim 37^{\circ}2'$ , 年平均气温  $13.1^{\circ}\text{C}$ , 光热资源充沛, 年平均日照时数 2655.2 h, 多年平均降水量为 593.2 mm, 蒸发量为 927.0mm。年总辐射量为  $5215.6\text{MJ}/\text{米}^2$  [程维新 1993]。

## 1.2 池塘基本状况

本研究所用的两个试验塘面积都为 0.32 公顷, 鱼池坡比 1:1.5, 两池相邻。四排 1 号塘(以下简写 4-1 塘)以草鱼为主养鱼, 三排 1 号塘(以下简写为 3-1 塘)以鲢、鳙为主养鱼。两池平均水深 4-1 塘为 2.0 米, 3-1 塘为 1.6 米。两池 pH 值、矿化度近于相似, pH 值变幅为 7.80~8.90, 矿化度为 0.8~1.0 g/L。试验鱼塘放养及收获情况见表 1。

表 1 不同养殖结构鱼塘鱼种放养及收获概况

Tab. 1 The survey of fingerlings breeding and fish catching in different main cultured fish ponds

三排 1 号塘 (3-1)	放养数量 (尾)	数量比 (%)	放养重量 (kg)	重量比 (%)	收获毛产量 (kg)	收获净产量 (kg)	净产量比	净增重倍数
鲢	3629	54.83	291.2	42.04	1292.5	1001.3	43.87	3.44
鳙	901	13.61	128.7	18.58	578.5	449.8	19.71	3.49
草鱼	1092	16.50	185.2	26.74	714.0	528.8	23.17	2.86
鲤	596	9.01	77.5	11.19	340.0	262.5	11.50	3.39
鲫	400	6.05	10	1.45	50	40	1.75	4.00
合计	6618		692.6		2975.0	2282.4		3.30
四排 1 号塘 (4-1)	放养数量 (尾)	数量比 (%)	放养重量 (kg)	重量比 (%)	收获毛产量 (kg)	收获净产量 (kg)	净产量比	净增重倍数
鲢	2751	41.13	164.0	19.94	987.7	823.7	31.81	5.02
鳙	693	10.36	45.5	5.53	273.6	228.1	8.81	5.01
草鱼	2168	32.41	517.9	62.97	1394.7	876.8	33.86	1.69
鲤	677	10.12	85.2	10.36	696.0	610.8	23.59	7.17
鲫	400	5.98	10	1.20	60	50	1.93	5.0
合计	6689		822.5		3412.0	2589.5		3.15

## 1.3 能量折算系数

将鱼池所有的投入、产出量转换为能量当量(J)。输入的补助能包括生物能、生产能。生物能包括投入的鱼种、精饲料、草料、肥料。生产能包括投入的渔业机械、电力、鱼池折旧、鱼药、劳动力等。其能量折算系数如表 2。

## 1.4 生态效率计算

为了测算池塘生态系统各环节的生态效益, 比较两种不同养殖结构的能量利用率, 采用以下公式计算:

总补助能的转换效率=池塘产出 GJ/池塘输入总补助能 GJ;

光合能的转换效率=池塘产出 GJ/池塘输入光合能 GJ;

生物能的转换效率=池塘产出 GJ/池塘输入生物能 GJ;

鱼种能的转换效率=池塘产出 GJ/池塘投入鱼种能 GJ;

单位产量的补助能耗能量=投入补助能 GJ/池塘鱼产量 T;

单位产量的光合能耗能量=投入光合能 GJ/池塘鱼产量 T;

单位产量的生物能耗能量=投入生物能 GJ/池塘鱼产量 T;

单位产量的鱼种能耗能量=投入鱼种能 GJ/池塘鱼产量 T。

用综合性生态经济指标 EY 值判断不同养殖结构的优选方案[陈一骏 1985]:

$$EY = (Ea + Eb + Ya + Yb) / 4$$

其中:  $Ea$ (池塘当年能量转换率)=池塘当年产出能量 GJ/池塘当年投入能量 GJ;  
 $Eb$ (池塘当年产出商品率)=池塘当年商品鱼能量 GJ/池塘当年产出能量 GJ;  
 $Ya$ (池塘当年经济投入产出比)=池塘年生产总值元/池塘年投资总额 元;  
 $Yb$ (池塘当年成本利润率)=池塘净产值 元 / 池塘年投资总额元。

表 2 池塘物质投入能量折算系数标准

Tab. 2 The conversion coefficient and criterion of energy for kinds of substance in fish ponds

	兆卡/千克	麦加焦耳/千克		兆卡/千克	麦加焦耳/千克
	( $10^6$ cal/kg)	( $10^6$ J/kg)		( $10^6$ cal/kg)	( $10^6$ J/kg)
鱼类[边文冀等 1991]			青料		
鲢	0.77	3.22	杂草[边文冀等 1991]	0.66	2.76
鳙	0.67	2.80	水草[边文冀等 1991]	0.32	1.34
草鱼	1.21	5.06	苜蓿	1.22	5.10
鲤	1.51	6.31	其他		
鲫	1.16	4.85	劳力(人工)	2.78	11.62
饲料			渔业机械(马力)	50	209.0
小麦	3.76	15.72	电力	3.0	12.5
麸皮	3.99	16.68	氮肥(纯)	22.0	92.0
棉饼	4.37	18.27	磷肥(纯)	3.2	13.4
玉米	3.95	16.51	鱼药(纯)	24.4	102.0

## 1.5 初级生产力计算

池塘水体的初级生产力, 设定池塘水体中各理化因子能满足浮游植物光合作用的需要。根据水体中测定的表、底层叶绿素 a 含量及初级生产力与叶绿素 a 含量的关系[蔡后建等 1994], 修正计算出池塘水体的毛初级生产力  $Y=0.197X-0.63$  ( $X$ : 叶绿素 a 含量)。根据水体中浮游植物现存量及 P/B 系数, 计算出水体浮游植物的净生产力。

## 2 结果与分析

### 2.1 光合作用效率

根据试验区 1996 年辐射资料, 试验从 3 月 20 日鱼种放完开始, 至 12 月 14 日清塘试验结束, 共计 270 天。这期间试验塘所接受的总辐射量为  $4040.9 \text{ MJ}/\text{米}^2$ 。养殖期间浮游植物现存量见表 3, 由叶绿素 a 计算出的毛初级生产力值见表 4。根据浮游植物现存量推算, 养殖期间的净生产量 4-1 塘为  $10672.02 \text{ 克}/\text{米}^2$  (北方池塘富营养水体年 P/B 系数值一般在 40~60, 取中间值 50); 3-1 塘为  $7285.63 \text{ 克}/\text{米}^2$ 。计算出的毛生产量 4-1 塘为  $5165.67 \text{ 克 O}_2/\text{米}^2$  3-1 塘为  $7151.52 \text{ 克 O}_2/\text{米}^2$ 。根据当量关系[王骥和梁彦龄 1981, Li 1987],  $1 \text{ 克 O}_2=6.1 \text{ 克浮游植物湿重}$ ,  $1 \text{ MJ}=444.7 \text{ 克浮游植物湿重}$ , 计算出浮游植物的毛产量 4-1 塘为  $31510.59 \text{ 克}/\text{米}^2$ , 3-1 塘为  $43624.25 \text{ 克}/\text{米}^2$ , 因此光合作用效率 (浮游植物毛产量/总辐射量) 4-1 塘为 1.75%; 3-1 塘为 2.43%, 其中浮游植物净生产量占毛生产量 4-1 塘为 33.87%, 3-1 塘为 16.70%。

表 3 试验塘浮游植物现存量(克/米<sup>3</sup>)Tab. 3 The standing biomass of phytoplankton in experimental fish ponds (g/m<sup>3</sup>)

池 塘	3 月 25 日	5 月 27 日	7 月 24 日	8 月 26 日	10 月 22 日
4-1 塘	11.0523	25.8711	71.4224	244.2991	358.8230
3-1 塘	25.0409	41.4341	109.7460	173.8770	257.0380

表 4 试验塘浮游植物的毛初级生产力(克氧/米<sup>2</sup>·天)Tab. 4 The gross primary productivity of phytoplankton in experimental fish ponds(g O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·d)

池 塘	3 月 25 日	5 月 27 日	7 月 24 日	9 月 26 日	11 月 22 日
4-1 塘	3.5809	8.0726	25.6598	43.1397	15.2074
3-1 塘	34.0208	8.7135	38.2919	41.4600	9.9493

## 2.2 能量转换效率

1996 年 3 月~12 月试验塘 4-1、3-1 能量投入及产出值见表 5。

表 5 试验塘能量收支情况

Tab. 5 The output and input of energy in fish ponds

	4-1 塘		3-1 塘	
	重量(kg)	能量(GJ)	重量(kg)	能量(GJ)
输入				
光合能		226.75		313.91
补助能		159.14		139.81
生物能		155.37		136.04
鱼种	822.5	3.87	692.6	2.77
饲料	8094.7	135.14	7323.8	122.27
草料	6290	15.14	3765.5	9.78
肥料	75	1.22	75	1.22
生产能		3.77		3.77
劳动力		1.57		1.57
机械电力及药物		2.20		2.20
输出				
毛产量	3412.0	15.69	2975.0	11.78
鲢	987.7	3.18	1292.5	4.16
鳙	273.6	0.77	578.5	1.62
草鱼	1394.7	7.06	714.0	3.61
鲤	969.0	4.39	340.0	2.15
鲫	60	0.29	50	0.24
净产量	2589.5	11.82	2282.4	9.01
鲢	823.7	2.65	1001.3	3.22
鳙	228.1	0.64	449.8	1.26
草鱼	876.8	4.44	528.8	2.68
鲤	610.8	3.85	262.5	1.60
鲫	50	0.24	40	0.19

从表 5 可知, 4-1 塘输入补助能及光合能合计为 385.89GJ, 其中生物能占 40.26%, 生产能占 0.98%。3-1 塘输入补助能及光合能合计为 453.72GJ, 其中生物能占 29.98%, 生产能占 0.83%。

根据毛产量及净产量计算出的能量转换效率和生产吨鱼所需能量值见表 6。由表 6 可知, 不同养殖结构鱼塘光合能的转换效率相差较大, 而补助能、生物能的转换效率差异相对较小。生产吨鱼消耗的生物能、补助能相差则不明显。这说明在生产技术水平大致相同条件下, 不同养殖结构鱼塘能量利用的差异主要体现在光合能的利用上, 这与主养鱼类的食性及其对水质影响密切相关。从表 5、表 6 可以看出, 由初级生产力到滤食性鱼类净产量的能量转换效率 4-1 塘为 1.45%, 3-1 塘为 1.43%。

表 6 试验塘能量转换效率与吨鱼能量消耗量

Tab. 6 Energy transforming efficiency and its consumption for per ton in fish ponds

	4-1 塘				3-1 塘			
	能量转换效率%		生产吨鱼能量消耗 GJ/T		能量转换效率%		生产吨鱼能量消耗 GJ/T	
	毛产	净产	毛产	净产	毛产	净产	毛产	净产
补助能	9.86	7.43	46.64	61.46	8.43	6.44	46.99	61.26
光合能	6.92	5.21	66.46	87.57	3.75	2.87	105.52	137.54
生物能	10.10	7.61	45.54	60	8.66	6.62	45.73	59.60
鱼种能	405	305	1.13	1.49	425	325	0.93	1.21

由此可见, 不同养殖结构两类鱼塘, 虽然光合能相差较大, 但由初级生产力到滤食性鱼类产量的转换效率差异不明显。滤食性鱼类对太阳能的利用率 4-1 塘为 0.025%; 3-1 塘为 0.035%, 这表明, 以滤食性鲢、鳙为主养鱼的塘对太阳能的利用率高于以草食性鱼为主养鱼的塘。根据净生产吨鱼消耗的能量结果可以看出, 以肥水性鱼为主的鱼塘生产吨鱼所消耗的光合能远高于以吃食性鱼为主的鱼塘生产吨鱼所消耗的光合能。

## 2.3 能量流动

在生态系统中, 太阳能被水体吸收利用, 生态系统中能量即发生转化迁移。能量流动是通过系统中食物链、网转移的, 在流动的环节上, 能量有相当的损耗。图 1 为试验鱼塘能量的转化示意图, 由于试验技术及研究深度的关系, 系统中能量流动环节没作定量测定。

## 2.4 综合指标评价

根据优选方案, 不同养殖结构试验鱼塘各项生态经济指标如下(试验塘收获鱼类全部以商品出售)。

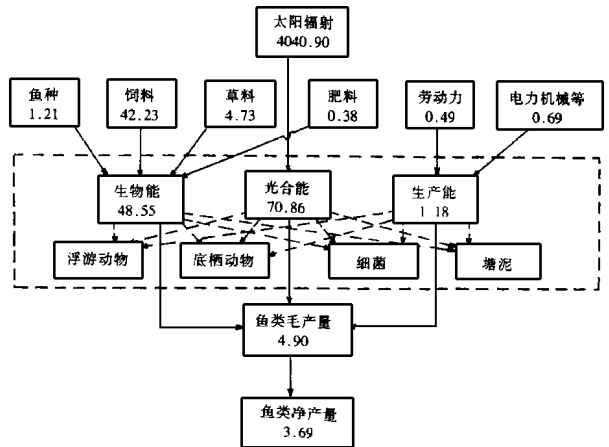


图 1 4-1 塘物质、能量流动框图(MJ/m<sup>2</sup>)

Fig. 1 The figure of substance-cycling and energy-flowing in No. 4-1 fish pond (MJ/m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} E_{a_{4-1}} &= 0.0407; & E_{a_{3-1}} &= 0.0260; \\ E_{b_{4-1}} &= 1; & Y_{b_{3-1}} &= 1; \\ Y_{a_{4-1}} &= 1.5110; & Y_{a_{3-1}} &= 1.1896; \\ Y_{b_{4-1}} &= Y_{a_{4-1}} - 1 = 0.5110; & Y_{b_{3-1}} &= Y_{a_{3-1}} - 1 = 0.1896. \end{aligned}$$

所以,

$$\begin{aligned} EY_{4-1} &= (0.0407 + 1 + 1.5110 + 0.5110) / 4 = 0.77; \\ EY_{3-1} &= (0.0260 + 1 + 1.1896 + 0.1896) / 4 = 0.60. \end{aligned}$$

从综合生态经济指标看,  $EY_{4-1} > EY_{3-1}$ , 4-1 塘以草鱼为主的养殖效益相对优于以鲢、鳙为主的 3-1 塘的养殖效益。但两塘综合指标  $EY$  值都小于 1, 所以试验的不同养殖结构的两类鱼塘都有待提高其经济、生态的综合效益。

### 3 讨论

池塘生态系统中, 能量利用效率是生态经济综合指标之一。客观评价养鱼池塘系统的效益需考虑到该系统对池塘输入的太阳能、补助能及生物能的转换效率。试验鱼塘在管理水平相同条件下, 主养草食性鱼类其产投比为 1.51:1, 而主养滤食性鱼类其产投比为 1.19:1, 总投入 4-1 塘高于 3-1 塘 1976.16 元, 占 3-1 塘总投入的 15.23%, 而总收入 4-1 塘高于 3-1 塘 7156.98 元, 占 3-1 塘总收入的 46.36%。因此从等量劳动角度分析, 选择 4-1 塘的生产结构方式其经济效益相对较好。

从不同养殖结构的两塘能量转换效率看, 生产吨鱼所消耗的生物能及生产能相差不大, 但光合能消耗相差较为悬殊, 这主要是因为 3-1 塘是以滤食浮游生物的肥水鱼为主, 养殖期间鲢、鳙大量滤食浮游生物, 从而促进了浮游生物的不断更新繁殖, 也就使太阳能被固定增多。这说明在相同养殖条件下, 生产吨鱼以肥水性鱼类为主的池塘比以吃食性鱼类为主的池塘要消耗更多的太阳能。另一方面, 池塘养鱼要求在养殖期间均匀施肥, 少量多次, 而不能突击施肥、次少量多, 形成初级生产在养殖期间不均匀而浪费, 从而使光合能成为塘底淤泥能量库的一部分。传统的成鱼养殖是以肥水下塘来促进鱼类早期的生长, 从平衡能量利用角度分析是不可取的。3-1 塘在试验初期的高初级生产力就是证明。池塘养鱼, 塘底淤泥是巨大的能量库, 据测定[康春晓等 1990], 1kg 淤泥其能量为 0.878MJ, 试验池淤泥沉积每年平均为 10cm 厚, 因此试验塘每年约有 1000GJ 成为淤泥能量“堡垒”, 因此清除淤泥、塘泥返田种植农作物是能量的再利用, 也是能量传递的最好途径。

生物能对于生产吨鱼的贡献一般为 30%~40%, 池塘系统中光合作用的主体比较单一唯有浮游植物, 而池塘中浮游植物数、量受养鱼饵、肥料及鱼类种群、数量的调节, 可见光合能利用率受制于生物能组成, 显示出生物能在系统中的主导影响作用。因此, 改善池塘水质条件, 使浮游生物密度适中, 才能保证水中溶氧及鱼类的正常摄食, 这些都有利于提高系统的能量利用率。

试验结果表明, 在池塘中相应地增加吃食性鱼类的比例能大大提高系统的生态效益, 同时改善了养殖结构也提高了经济效益。

### 参 考 文 献

350

- 边文冀, 吴乃微, 姚宏禄. 1991. 池塘养鱼及常规饲料的热卡值测定. 水产科技情报, 18(5): 157~159
- 陈一骏. 1985. 池塘养鱼最佳模式的评价指标初探. 淡水渔业, (5): 32~35
- 康晓春, 雷慧僧, 谭玉钧. 1990. 以草鱼鲢为养鱼的池塘能量转换效率初探. 水产科技情报, 17(2): 47~49
- 程维新. 1993. 洼地整治与环境生态. 北京: 科学出版社. 10
- 蔡后建, 陈宇伟, 蔡启铭等. 1994. 太湖梅梁湾口浮游植物初级生产力及其相关因素关系的研究. 湖泊科学, 6(4): 340~347
- Li Sifa. 1987. Energy structure and efficiency of a typical Chinese integrated fish farm. *Aquaculture*, 65: 105~108

## ECOLOGY STUDY OF ENERGY IN FISH PONDS OF DIFFERENT CULTURING STRUCTURE

GU Xiao-Hong, HU Weng-Ying, CHEN Wei-Ming

(*Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008*)

**ABSTRACT** This paper analyzes the energy utilization efficiency on every section in different main cultivated fish ponds. In the pond of main cultivated grass carp, its transforming efficiency of the total supplement energy, photo-synthetic energy and creature energy were 9.86%, 6.92% and 10.10% respectively. Meanwhile, the consumed energy of culturing one ton fish yield was 46.64GJ, 66.46GJ and 45.54GJ respectively. In the pond of main cultivated silver carp and big head carp, the appropriate data were 8.43%, 3.75%, 8.66%, 46.99GJ, 105.52GJ, 45.73GJ respectively. As the difference of main function in two ponds, there was some diversity for utilization the radiation by silver carp and big head carp. The net conversion efficiency was almost equal, which was from the primary productivity to the crops of the filtered food fish. The coefficient was 1.45% and 1.43% in main culturing grass carp fish pond and in main culturing silver carp and big head carp fish ponds. Based on the eco-economic index EY, the producing style of main cultivated grass carp was superior to that of main cultivated silver carp and big head carp.

**KEYWORDS** Culturing structure, Fish pond, Energy, Ecology