

# 水库对投饵网箱养鱼的负荷力<sup>①</sup>

李德尚 熊邦喜\* 李琪 李靖华\* 元开吉\*

(青岛海洋大学 266003)

## 提 要

本文用18个 $14.3\text{m}^3$ 的围隔组成的围隔群,以鲤为材料,研究了水库对投饵网箱养鱼的负荷力。实验中观测了水温、透明度、pH值、溶氧、化学耗氧量、生化需氧量与非离子氨等环境因素的变化。结束时将这些变化与我国渔业水质标准相比较,查明该负荷力约为 $3000\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,建议增加25—35%的安全储备,以最大载鱼量 $1800—2300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 作为推荐值。

**关键词** 网箱养鱼,投饵,负荷力,水库,围隔

在水库中实行投饵网箱养鱼是对水库进行渔业开发和提高产量与效益的重要方式。但这种生产活动会增加水库外源物质的输入,造成水质污染,破坏水库的生态平衡。因此,研究水库对这种养鱼业的负荷力,提出一个指导适当发展的标准,是环保和养鱼工作者所面临的重要课题。本文以现场围隔实验法对该问题进行了研究。此前只有Beveridge<sup>[1]</sup>对这一问题进行过正面探讨。但所用的是间接推算法,推算的主要依据是水域可允许的最高磷水平以及网箱养鱼对水域磷水平的影响。

本研究主要着眼于以灌溉和养鱼为主要用途的水库,所关注的主要是有机质污染问题,也就是有机质负荷在养鱼所要求的水质上与水域自净能力的平衡问题。水库的网箱养鱼负荷力是指符合我国渔业水质标准(GB11607—89)的最大网箱养鱼负荷量。这一负荷量可用养鱼网箱的总面积(以网箱毛产量 $750,000\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 为计算标准)对水库总面积之比(简称面积比,%),或者以网箱养殖的鱼类平均到水库总面积上的现存量(简称载鱼量, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )表示。

## 1. 材料和方法

**1.1 实验水库** 在山东省新泰市东周水库进行。该水库为中型丘陵水库,其库容为 $65.50\times 10^6\text{m}^3$ ,水面积约800ha,平均水深约8m。据调查该库属中-富营养型<sup>②</sup>。水库

<sup>①</sup>本研究为水利部水利技术开发基金重点资助项目。

\* 熊邦喜现在武汉华中农业大学水产系工作;李靖华在山东省水利厅工作;元开吉在泰安市水利水产局工作。  
参加工作的还有曹济民、岳茂国、张辉、刘志圣、王树寅、宋洪泉等特致谢意。

<sup>②</sup> 山东省水利厅编。山东省水库渔业资源调查资料汇编。1990。

1991年10月4日收到。

未受工矿业或生活污水污染,在养鱼生产中也未采取投饵或施肥措施。

**1.2 实验围隔** 自行设计和使用了一种浮式中型围隔。该围隔主体是用涂塑高密度聚乙烯编织布制成的围隔袋,圆筒形,高 5.7m,面积  $2.86\text{m}^2$ ,容水  $14.3\text{m}^3$ 。围隔袋的上口由一圆钢焊接而成的浮架固定并撑开。浮架上系有塑料浮子,使上口浮出水面。围隔袋下端装有一个与围隔袋面积相等的底盘。该底盘由扁钢焊成圆圈再用粗铁丝编织成网,上面覆一层聚乙烯编织布。底盘是围隔袋的底部,同时也起重力作用,使围隔袋下垂和保持正常形状。为了模拟风浪的作用,每个围隔袋内装有一台 90W 的微型电动搅水机<sup>[2]</sup>。

**1.3 实验设计** 共用围隔 18 个,分成 VI 组,每组 3 个重复;其中 I 组为对照组(不养鱼),II 至 VI 组为实验组,按不同密度养殖建鲤,体重 50—60g;5 个实验组的放养量依次为:0.76、0.38、0.25、0.19 和  $0.15\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。在养鱼中跟踪观测各围隔的水质变化。当水质符合渔业标准的各实验组水质基本稳定时,其中载鱼量最大的一组即代表负荷力。

**1.4 实验管理** 使用了网箱养鲤生产所用的配合饲料<sup>[1]</sup>,直径 2mm。饲料投放在饵料盘中,一日投喂 4 次,总投饵量根据经验投饵率<sup>[3]</sup>计算。无风或小风(<3 级)天气上午 10 时、下午 15 时各搅水一次。90W 的动力,工作电压 80V,直径 0.25m 的叶轮转速为 88r/min,每次搅水 50min。

**1.5 观测项目及分析方法** 观测因素有水温(WT)、透明度(SD)、pH、溶氧(DO)、化学耗氧量(COD)、生化需氧量(BOD)、总磷(TP)、非离子氨(UIA)等 8 项。其中前 4 项每 3d 于上午 6:30—7:30、下午 16:00—17:00 各观测一次,COD 与 UIA 每 5d 监测一次,TP 于实验的初、中、末期共监测三次,BOD 于始末各观测一次,实验结束前进行了一次每隔 4h 的周日观测。以上各项目的分析方法均按常规<sup>[4][2]</sup>。UIA 的计算参照 Emerson<sup>[5]</sup>方法进行。

## 2. 结果与分析

实验于 1990 年 6 月 15 日开始,至 7 月 18 日结束,历时 34d,其间日平均水温从 23.5℃ 逐渐升高到 29.2℃。

### 2.1 水质因素的变化

**透明度** 实验期间各围隔 SD(下午)的变化幅度为 50—180cm。不同组间差异显著( $p < 0.05$ ),与各组的载鱼量呈负相关。

**pH** 变化范围为 7.0—8.6,未超出渔业水质标准的规定。各组间的差别是与载鱼量呈负相关的趋势。这与载鱼量较大的围隔投饵量也较大,因而有机质负荷量较高有关。

**溶氧** 各组间清晨的 DO 差异显著( $p < 0.05$ ),与载鱼量呈负相关(表 1)。II—IV 组先后降到了渔业水质标准规定的最低值之下,其中 II 与 III 组都发生过浮头和死鱼;而始终保持在此值之上,而基本趋于稳定的只有 V、VI 两组。周日观测的结果证明这两组在 16h 以上溶氧大于标准规定的  $5\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  以上。表明 V、VI 两组的溶氧是符合水质标准的。

<sup>1</sup> 饲料配方为:鱼粉 20%,豆饼 35%,麸皮 35%,粗面粉 10%;另加多维素 1%,矿物盐 1%。

<sup>2</sup> 全国渔业自然资源调查和渔业区划淡水专业组。内陆水域渔业自然资源调查试行规范,1980。

表1 清晨溶氧测定结果( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )

Tab.1 Concentrations of dissolved oxygen in the enclosures in relation to day of the experiment. Measurements were taken between 6:30—7:30

组别 Enclosure group	观测时间(实验开始后天数) Days after the beginning of the experiment										
	2	5	8	12	15	20	23	26	29	31	34
I	7.6	4.6	6.0	7.9	8.0	8.0	7.0	8.5	7.0	7.4	4.3
II	6.4	3.3	0.9	2.8	3.8	2.2	0.7	0.2	0.3	3.4	3.2
III	7.1	4.5	2.5	4.5	6.5	5.0	2.4	1.3	0.8	2.4	3.0
IV	7.1	4.8	3.1	5.0	7.2	5.4	4.1	3.4	2.9	3.0	3.4
V	7.3	5.0	3.8	6.1	7.7	5.9	5.7	5.5	3.7	4.3	3.6
VI	7.4	5.0	4.1	6.4	8.0	6.2	6.6	6.6	4.4	4.9	4.4

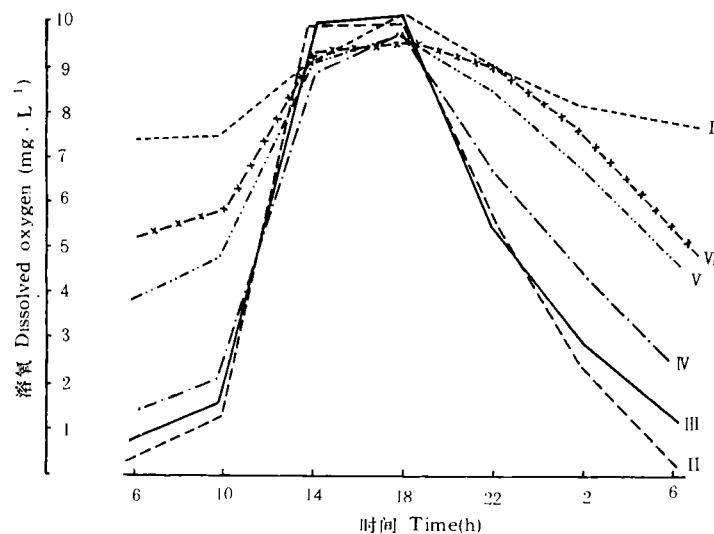


图1 实验结束前各组围隔溶氧的周日变化

Fig.1 Diurnal variations in dissolved oxygen in each enclosure group at the end of the experiment

**化学耗氧量** 变化范围为  $2.30—7.14\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，各组间差异显著( $p < 0.05$ )，与载鱼量呈正相关。显然这也与载鱼量大的围隔投饵量高有关。

表2 非离子氮测算结果( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )

Tab.2 Concentrations of unionized ammonia in the enclosures in relation to day of the experiment

组别 Enclosure group	观测时间(实验开始后天数) Days after the beginning of the experiment							
	1	5	11	16	22	24	27	33
I	0.0057	0.0087	0.0050	0.0049	0.0062		0.0063	0.0032
II	0.0057	0.0290	0.0330	0.0201	0.0309	0.0396		
III	0.0057	0.0144	0.0284	0.0143	0.0202	0.0252	0.0225	0.0126
IV	0.0057	0.0166	0.0104	0.0088	0.0143		0.0163	0.0100
V	0.0057	0.0141	0.0078	0.0061	0.0124		0.0144	0.0095
VI	0.0057	0.0130	0.0170	0.0062	0.0091		0.0169	0.0152

**非离子氨** 各组间差异极显著( $p < 0.01$ ),与载鱼量的变化呈正相关(表2)。其中只有Ⅱ、Ⅲ两组超过了渔业水质标准的规定( $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )。

**总磷** 变化范围为 $0.042\text{--}0.522 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,而指标合乎标准的V、VI两组都约为 $0.07 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (表3)。

**生化需氧量** 变化范围为 $1.46\text{--}8.86 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (表3),各组间随载鱼量的增大而增大,其中只有Ⅱ组超过了渔业水质标准。

表3 总磷与生化需氧量的测定结果( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )

Tab.3 Total phosphorus and BOD in the enclosures in relation to day of experiment

项目 Parameter	观测时间 O.T.*.	组别 Enclosure group					
		I	II	III	IV	V	VI
总磷 Total phosphorus	1	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048
	16	0.042	0.127	0.081	0.051	0.044	0.045
	24		0.522				
	33	0.049		0.221	0.112	0.073	0.071
生化需氧量 BOD	1	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
	27		8.86				
BOD	34	3.52		4.00	3.20	2.40	1.76

\* Observation time in days after the beginning of the experiment

## 2.2 负荷力的判断

实验结束时各组围隔水质参数的实测极值与水质标准的限定值比较如下(表4)。

表4 各组围隔水质参数的极值与水质标准的比较

Tab.4 Comparison of the extreme values of the water quality parameters

in each enclosure group and the water quality standards

项目 Parameter	组别 E.G. <sup>1)</sup>	最大或最小值 Maximum or minimum						渔业水质 标准规定 Water Quality Standard	超标组 E.F.S. <sup>2)</sup>
		I	II	III	IV	V	VI		
pH		7.7—8.6	7.0—8.4	7.1—8.6	7.1—8.5	7.3—8.6	7.4—8.6	6.5—8.5	
DO	A <sup>1)</sup>	4.3	0.2	0.8	2.9	3.7	4.1	> 3.0	Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ
	B <sup>2)</sup>	24	10	10	12	19	24	> 16	Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ
COD( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )		4.15	7.14	5.84	4.22	4.04	3.81	< 15 <sup>3)</sup>	
UIA( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )		0.0087	0.0369	0.0284	0.0166	0.0144	0.0170	< 0.02	Ⅱ、Ⅲ
BOD( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )		3.52	8.86	4.00	3.20	2.40	1.76	< 5.0	Ⅱ

1) 清晨观测值( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,略等于全天最低值);2)大于 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的时间(h);3)地面水环境质量标准(GB3838—88)对Ⅰ—Ⅱ类水域的规定。

\*<sup>1</sup> Enclosure group \*<sup>2</sup> Enclosures failing to meet the standard

从上述比较可看出,Ⅱ—Ⅳ组属超负荷,而合乎渔业水质标准的只有V和VI组,其中

V组载鱼量较高(表5),代表了水库对投饵网箱养鱼的负荷力。该组的载鱼量为 $3096\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,面积比为0.41%(或1/242)。

表5 实验结束时各实验组的载鱼量及面积比

Tab.5 The final fish density ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) and the area ratio (%) for each enclosure group

组别 Enclosure group	II	III	IV	V	VI
载鱼量 ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) Carrying capacity	8208	4885	4029	3096	2594
面积比 (%) Area ratio	1.09	0.65	0.54	0.41	0.35

### 2.3 各围隔组的养鱼结果及最佳载鱼量的评选。

各实验组的养鱼结果汇总列入表6。

表6 各实验组的养鱼结果

Tab.6 Fish yield, growth and feed efficiency in each enclosure group

组别 Enclosure group	净产量(g) Net yield	平均尾增重(g) Growth per fish	饲料效率(%) Feed efficiency
II	184	5.1	7.0
III	316	17.0	17.2
IV	431	29.9	34.6
V	347	35.6	41.9
VI	313	44.7	49.8

为了评比养鱼效益最高的实验组,使用了养鱼效益综合指标(SI),并定义该指标为:

$$SI = (Y_n \cdot \Delta W \cdot K)^{\frac{1}{3}}$$

式中: $Y_n$ —围隔净产量(g); $\Delta W$ —平均尾增重(g); $K$ —饲料效率(%).现将符合水质标准的V、VI两组评比如下(表7)。

表7 最佳载鱼量组的评比

Tab.7 Assessment of fish production efficiency in the two enclosure groups with water quality meet the standards

项目 Item 组别 Enclosure group	净产量 $Y_n(\text{g})$ Net yield	平均尾增重 $\Delta W(\text{g})$ Growth / fish	饲料效率 $K(%)$ Feed efficiency	SI
V	347	35.6	41.9	80.3
VI	313	44.7	49.8	88.7

从上述评比中可看出VI组明显优于V组,因此VI组是本实验中的效益最佳组,其载鱼量为 $2594\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 。

### 3 讨论

本研究结果表明对我国所常见的中-富营养型浅水水库(平均水深5m左右)在短期内(30d左右)没有水交换和网箱均匀分布的情况下,投饵网箱养鱼的负荷力约为 $3000\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 或面积比0.4%。指示负荷力的实验组鱼的生长速度和饲料效率均达到了实际网箱养鱼的一般水平。此外,作者等在另一次实验<sup>[6]</sup>中也得到了基本相同的结果( $2934\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )。这证明本实验结果是可信的。根据李德尚等<sup>[7]</sup>对我国网箱养鱼实际情况的调查,总结出负荷量大于 $2500\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 即会有危险,这比本实验结果略低而相近。Wellborn介绍美国池塘养斑点叉尾鮰,在不使用增氧机的情况下,最大鱼产量为 $2500\text{--}3000\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 。千叶健治等介绍日本储水池养鲤的产量一般为 $3000\text{--}3500\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,这些与本实验结果十分接近。鉴于最佳负荷量要小于最大负荷量以及养鱼生产中网箱不可能完全均匀分布,同时也考虑到大水域污染的严重性,建议将实验结果加上25—35%的安全系数,即以最大负荷量 $1800\text{--}2300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 或面积比0.24—0.30%作为生产中使用的推荐标准。

本实验所用围隔未加底泥(沉积物),对于一个完整的生态系统来说是一个缺陷。因为在预备试验中查明,这种学式围隔如果加底泥会带来重大干扰。其一是遇到大风天气围隔内水质易浑浊;其二是各围隔所加底泥不能保证均质,因而会造成水质的本底不均等。这一问题尚需今后进一步研究。此外,本实验所查明的负荷力就其基本性质来说是一个经验值,是在实验条件下求得的,因而并不保证在任何条件下都适用。但本实验条件是在我国网箱养鱼水库中最常见的,具有较好的代表性,因此本结果仍具有普遍意义,适用于一般情况。使用中遇到显著不同的条件时,可以此为基准,加以适当调整。例如,如果水较深、水交换率较高、营养水平较低,水面较开阔时,可以适当调高。至于负荷力和这些条件之间的密切关系,也是有待深入研究的问题。

### 参 考 文 献

- [1] Beveridge M C M. Cage and pen fishfarming, carrying capacity modes and environmental impact. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 1984, **225**: 88.
- [2] 李德尚等。一种适于内陆水域生态实验用的浮式围隔。海洋与湖沼, 1993, **24**(5): 547—552。
- [3] 千葉健治、栗原伸夫、富永正雄。养鱼讲座第一卷 鲤 绿書房。1974。
- [4] 全国主要湖泊、水库富营养化调查研究课题组编。湖泊富营养化调查规范。北京:中国环境科学出版社。1987。
- [5] Eerson K, et al. Aqueous ammonia equilibrium calculation: effect of pH and temperature. *J. Fish. Res. Board Can.*, 1975, **32**: 2379—2383.
- [6] 熊邦喜等。配养滤食性鱼对投饵网箱养鱼负荷力的影响。水生生物学报, 1993, **17**(2): 131—144。
- [7] 李德尚等。水库对投饵网箱养鱼负荷力问题的初步探讨。水利渔业, 1989(1): 8—11。

## CARRYING CAPACITY OF RESERVOIRS FOR FEEDING CAGE-CULTURE OF FISH

Li Deshang, Xiong Bangxi, Li Qi, Li Jinghua and Qi Kaiji

(Ocean University of Qingdao, 266003)

### Abstract

Carrying capacity of reservoirs for feeding cage-culture of fish was estimated using 18 experimental enclosures, each  $14.3\text{m}^3$  in volume and stocked with common carp. The carrying capacity was defined as the maximum possible density of cultured fish in the reservoir that does not result in violation of the "Water Quality Standard for Fisheries" (GB 11607-89).

The experiment was carried out at Dongzhou Reservoir, Xintai City, Shandong Province during June 15-July 18, 1990. The variations in the environmental factors, including water temperature, transparency, pH, dissolved oxygen, COD, BOD and UIA were monitored during the experiment.

The carrying capacity was estimated to be about  $3000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . The authors suggest that a safety parameter of 25-35% should be used, and therefore the maximum allowable density of cultured fish should be  $1800-2300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , as recommended to fish farmers.

**Key words** Cage-culture of fish, Feeding, Carrying capacity, Reservoirs, Enclosure