

# 蟹、鱼网围混养对草型湖泊氮磷平衡的影响<sup>\*</sup>

施炜纲 王 博 周 昕

(中国水产科学研究淡水渔业研究中心, 无锡 214081)

**提 要** 研究了草型湖泊(东太湖)蟹、鱼网围混养对水域中氮、磷平衡的影响. 对养殖过程中氮、磷的输入输出测算表明: 利用该养殖模式进行生产, 不仅不会加重水域中的氮、磷负荷量, 相反还可以从水域环境中吸收一部分氮、磷. 在整个养殖过程中, 由于投放蟹、鱼种和饲料形成的氮、磷输入分别为  $27.889\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  和  $4.381\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 而起捕蟹、鱼导致的氮、磷输出分别为  $41.177\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  和  $5.801\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 可以从湖泊中吸氮、磷量分别为  $13.288\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  和  $1.420\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ . 该养殖模式还具有理想的经济效益, 对水生生物群落的影响亦较小, 符合可持续发展的要求.

**关键词** 网围 氮、磷平衡 太湖 影响

**分类号** S964.4

湖泊网围养殖自“七五”开展至今, 在我国各内陆湖泊得到了极大的发展. 就草型湖泊而言, “八五”期间在以水—草—鱼三者动态平衡模式基础上, 网围养鱼产量达  $7500\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ . 就东太湖而言, 随着个体经济的发展及环保意识的淡薄, 尽管目前通过加大鱼种投放量、投饲量、加大水草刈割量等措施使产量仍在提高, 但造成湖泊氮、磷负荷加重, 从而对水环境产生较大负面影响<sup>[1-3]</sup>. 对这种受利益驱使的养殖行为, 即便是政府或行政措施均很难实行有效的管理与控制. 因而开展湖泊生态型网围养殖, 合理利用(草型)湖泊资源, 兼顾渔民养殖利益, 使养殖与生态综合效应同步发展, 是草型湖泊网围养殖中急需研究的内容. 作者在东太湖庙港  $10\text{hm}^2$  网围区内进行了以“蟹、鱼”混养为方式, 以控制投饲为手段, 以实现养殖区氮、磷沉积呈负增长为目的的实验研究, 旨在为湖区渔民提供一种可持续发展的生态型养殖模式.

东太湖是长江中下游地区典型的草型湖泊, 水生植物资源十分丰富, 网围区水质清新、湖底平坦、溶解氧充足. 养殖试验区水草覆盖率在 90% 以上, 其中茭草 52%、微齿眼子菜 25%、苦草 16%、轮叶黑藻 7%. 底栖动物资源较贫乏. 年复一年水生植物腐败沉积于湖底, 表层沉积物腐殖质含量较高, 泥层呈黑色, 表层 10cm 泥层总磷含量较高.

## 1 材料与方法

### 1.1 网围区的设置

$10\text{hm}^2$  养殖试验区, 分成 5 个相同的网围, 采用双层网结构. 根据东太湖历年来风浪情况, 将网围形状设计成长方形. 单个网围及布局见(图 1).

### 1.2 蟹、鱼放养

试验放养长江镇江段的中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)幼蟹, 3 月 27 日放蟹种, 每个网围

<sup>\*</sup> 农业部“九五”科技攻关项目“浅水草型湖泊规模化养殖技术研究”(96-008-02-01)资助项目.  
收稿日期: 1998-12-14; 收到修改稿日期: 1999-04-19. 施炜纲, 男, 1953 年生, 副研究员.

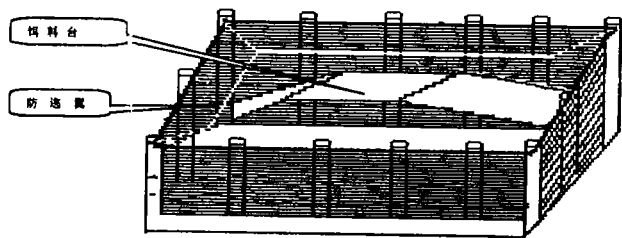


图 1 网围结构

Fig.1 Construction of pen and cage

放 9000 只(90kg).2 月 20 日投放大规格草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)种(表 1).

表 1 每公顷网围内蟹、鱼放养、投饲及收获\*

Tab.1 Input,ouput and diet consuming per hm<sup>2</sup>  
of crab and grass carp in pen and cage

方式	项目	茭草区网围
河蟹放养情况	放养规格/g·只 <sup>-1</sup>	10
	放养量/只	4500
	放养总重量/kg	
草鱼放养情况	放养规格/kg·尾 <sup>-1</sup>	1
	放养量/尾	375
	放养总重量/kg	375
蟹收获情况	数量/只	2700
	平均规格/g·只 <sup>-1</sup>	160
	产量/kg	432
	回捕率/%	60
草鱼收获情况	数量/尾	300
	平均规格/g·尾 <sup>-1</sup>	3.75
	产量/kg	1125
	回捕率/%	80

\* 5 块平行试验区的试验结果,其中收获情况为平均值.

1.3 投饵及日常管理

在整个养殖期间,不间断投喂玉米(在鱼饵中相对氮、磷百分含量较低),在养殖早期,蟹饲料以动物性饲料(野杂鱼)为主,中期采用动、植物饲料相结合的投饵方式,后期采用加大动物性饵料比例的投喂措施进行秋季强化育肥.混养的草鱼自然取食利用网围区内的草资源,养殖全程采用饵料限量投入的方式.投饲一般在下午 4 时,采取搭食台定点投喂(图 1),投喂量依天气、水文、天然饵料及河蟹摄食状况而定.日常管理做到经常巡查,防逃防病,每月测定养殖对象生长情况.

1.4 水域环境因子的观测及分析

了解网围养蟹对水域环境的影响,在网围区内外设点按月进行对照测定,项目

有:水色、透明度、浊度、悬移质;TN, TP, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, COD, BOD<sub>5</sub>, DO;水生维管束植物、浮游植物、浮游动物、底栖动物.

对 5 块试验区氮磷输入与输出的试验数据,以加权方法求算算术平均值,并以此作为分析与讨论依据.

2 结果与分析

2.1 蟹、鱼生长

网围试验区中河蟹于 10 月 25 日全部起捕完毕,生长期共 212d,网围区河蟹的平均体重达到 160g·只<sup>-1</sup>,回捕率达到 60%,折合产量 432kg·hm<sup>-2</sup>.草鱼经 192d 生长(未从湖区割草投喂),平均体重达 3.75kg,9 月 1 日捕捞证实回捕率达 80%,起捕渔获共 9750kg(5 个网围),平均 1125kg·hm<sup>-2</sup>(表 1).由于采用了蟹、鱼混养及投饵控制,使得整个养殖过程中氮、磷的投入小于输出(表 2、3).

表 2 单养殖周期输入与输出氮、磷测算\*

Tab.2 Calculation of import and export of nitrogen and phosphorus in single culture cycle

项目	重量 /kg·hm <sup>-2</sup>	N 百分含量 /%	N 实际含量 /kg·hm <sup>-2</sup>	P 百分含量 /%	P 实际含量 /kg·hm <sup>-2</sup>
输 入					
蟹 种	45.0	2.240 *	1.008	0.145 *	0.065
玉米饵料	553.5	1.536 *	8.502	0.270 *	1.494
杂鱼饵料	331.5	2.750 *	9.116	0.410 *	1.359
草 鱼 种	375.0	2.470 *	9.263	0.390 *	1.463
合 计			27.889		4.381
输 出					
河 蟹	432.0	2.240 *	9.667	0.145 *	0.626
草 鱼	1125.0	2.800 *	31.500	0.460 *	5.175
合 计			41.177		5.801

\* 氮、磷在不同有机体中的百分含量数据自李德尚<sup>[4]</sup>、许民强<sup>[5]</sup>.

表 3 网围养殖区内平均消耗水草估算

Tab.3 Calculation of consumed watery weeds per hm<sup>2</sup> in pen and cage on average

名 称	重量 /kg·hm <sup>-2</sup>	含氮率 /%·hm <sup>-2</sup>	含氮量 /kg·hm <sup>-2</sup>	含磷率 /%·hm <sup>-2</sup>	含磷量 /kg·hm <sup>-2</sup>
眼 子 菜	5250	0.310	16.275	0.047	2.468
苦 草	5460	0.250	13.650	0.039	2.129
黑 藻	2100	0.180	3.780	0.029	0.609
菱 草	8190	0.740	60.606	0.044	3.604
合 计	21000		94.311		8.810

整个养殖期间草鱼对网围区内水草利用结果:实际耗草 21000kg·hm<sup>-2</sup>(饵料系数 1:35),经试验结果分析表明,养殖少量草鱼是养殖中氮、磷输入小于输出的主要因素.

2.2 蟹、鱼网围混养对水域氮、磷负荷的影响

由表 2 可见,网围区内氮、磷输出量大于输入量,养殖对水体起到净化作用.单养殖周期网围中,以蟹种、鱼种、饵料投放形式为主的氮、磷总输入分别为 27.889kg·hm<sup>-2</sup>,4.381kg·hm<sup>-2</sup>;而以起捕河蟹、草鱼形式为主的氮、磷总输出分别为 41.177kg·hm<sup>-2</sup>和 5.801kg·hm<sup>-2</sup>,亦即经过一轮养殖周期,网围水域可以降低氮、磷负荷 13.288kg·hm<sup>-2</sup>和 1.420kg·hm<sup>-2</sup>.

2.3 蟹、鱼网围混养对水域环境的影响

网围养殖区内外除底栖动物生物量存在较大差异外,其他各项生物学与非生物学指标差异

都不大(表 4).而 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N,NO<sub>3</sub>-N,NO<sub>2</sub>-N,PO<sub>4</sub>-P 四项指标均接近于区外,养殖区内承接了养

表 4 养殖区内、外环境变化(年平均值)

Tab.4 The change of circumstances inside and outside of culturing area

测项	养殖区内	养殖区外
TN/mg·L <sup>-1</sup>	0.530	0.460
TP/mg·L <sup>-1</sup>	0.058	0.041
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/mg·L <sup>-1</sup>	0.046	0.060
NO <sub>3</sub> -N/mg·L <sup>-1</sup>	0.057	0.080
NO <sub>2</sub> -N/mg·L <sup>-1</sup>	0.031	0.040
PO <sub>4</sub> -P/mg·L <sup>-1</sup>	0.005	0.006
COD/mg·L <sup>-1</sup>	5.430	5.120
BOD/mg·L <sup>-1</sup>	1.460	1.230
底层 DO/mg·L <sup>-1</sup>	9.8	9.9
透明度/m	1.2	1.2
浮游藻类生物量/mg·L <sup>-1</sup>	2.89	3.20
浮游动物生物量/mg·L <sup>-1</sup>	0.164	0.190
底栖动物生物量/g·m <sup>-2</sup>	45.26	155.0
水生植物生物量/g·m <sup>-2</sup>	4.25	4.50

殖对象的生物呼吸后的 DO 仍与区外相近. 因此, 草型湖泊网围养殖完全能够将氮、磷外源输入限定在一个较低的水平上, 同时获得较高经济效益.

表 5 蟹、鱼网围混养经济效益核算

Tab. 5 Calculation on economic benefit of pen crab and fish polyculture (per hm<sup>2</sup>)

指标	蟹	草鱼
单产量/kg·hm <sup>-2</sup>	432	1125
群体增重倍数	9.6	3.0
总投入/元·hm <sup>-2</sup>	31530	
总产出/元·hm <sup>-2</sup>	60840	
投入产出比/hm <sup>-2</sup>	1:1.93	
利润/元	29310	

2.4 网围蟹、鱼混养的经济效益核算

经过单养殖周期后, 蟹、鱼网围轮作混养取得了十分理想的经济效益, 水面投入资金为 31530 元·hm<sup>-2</sup>, 而以成蟹、草鱼为主的产出金额为 60840 元·hm<sup>-2</sup>, 利润为 29310 元·hm<sup>-2</sup>, 投入产出比达到 1:1.93(表 5).

3 总结与讨论

3.1 蟹、鱼网围混养原理

在生态型网围养殖过程中, 首要问题就是要兼顾环境质量, 在投饵情况下, 向水体输入的外源性氮、磷必须与渔获捕捞输出氮、

磷达到平衡. ①本网围养殖模式中采用了控制饵料投入, 河蟹养殖采用天然饵料与人工饵料相结合, 使养殖全程中的氮、磷投入控制在较低的水平. ②投放少量草鱼种, 不采用区外割草投喂方式, 不仅保护了区外水草资源结构和生物量, 保护了湖区生态环境; 且网内水草覆盖率控制在 65% 的水平, 并使得无草裸露区域扩大, 增加了投入人工饵料后的能见度, 提高了饵料的利用率. ③裸露区域扩大, 加之草鱼在水体中的游弋搅动, 改善了底层溶氧, 增加了饵料转化率, 降低了饵料系数. ④参与氮循环的各类细菌主要受底泥中碳、氮、氧的影响, 裸露区域扩大, 加大了溶氧向底泥的渗入, 氧的提高有助于硝化细菌在氮循环中对氨化产物的氧化作用<sup>[6]</sup>. 经养殖证明中密度草区的养殖效果明显优于高密度草区.

3.2 蟹、鱼网围混养的理论构架

在发展蟹、鱼混养时, 由于河蟹和草鱼在一定的时空范围内必须共存, 因此首先应从理论上确立二者之间无大的生存竞争, 任何一方不对对方的生长存活造成大的影响. 为此引入生态位概念对  $n$  维空间中的种的适合性进行测度, 利用 Levins<sup>[7]</sup> 生态位宽度指数公式计算两物种的生态位宽度, 并根据生态位相似性比例公式<sup>[7,8]</sup> 计算两物种在食物上和栖息环境中的生态位重叠程度, 结果表明: 在食物利用上, 河蟹比草鱼占据有更宽的生态位宽度, 二者在食物上和栖息环境上的生态位重叠不显著. 这说明二者可以很好地共存于同一生态系统中.

3.3 网围区的氮、磷平衡及循环

网围蟹、鱼混养意义在于: 单位养殖水面一个养殖周期内氮、磷投入为 27.889kg·hm<sup>-2</sup>、4.381kg·hm<sup>-2</sup> 但区内氮、磷输出为 41.177kg·hm<sup>-2</sup> 和 5.801kg·hm<sup>-2</sup>. 即一个养殖周期内可输出水草所含的氮、磷分别为 13.288kg·hm<sup>-2</sup>、1.420kg·hm<sup>-2</sup>, 而蟹、鱼混养实际耗草所含的氮、磷为 94.311kg·hm<sup>-2</sup> 和 8.810kg·hm<sup>-2</sup>, 其氮、磷差额为 81.023kg·hm<sup>-2</sup>、7.390kg·hm<sup>-2</sup>, 则由蟹、鱼代谢(排泄物及运动能量损耗)排泄再次进入水体循环(由于水生生物的固氮作用引起的水域环境中氮的输入与细菌的反硝化作用造成的氮的输出基本平衡<sup>[9]</sup>, 故此忽略此两项). 蟹、鱼正常新陈代谢过程中会产生一些排泄物, 养殖过程中也不可避免会产生数量有限的一部分残饲, 二者以固体悬浮物形式存在水中, 随时间推移, 经物理沉积、化学分解及微生物作用转化为以下两种形式: ①主要以可溶性营养盐形式存在于水中, 其中大部分为水生植物所利用, 通

过收割直接脱离生态系统或为蟹、鱼利用转化,间接脱离生态系统;小部分为浮游生物利用合成自身有机体并进一步向生物链更高层次转化,从而脱离循环;②其次以有机碎屑形式存在于底泥中,其中一部分为螺、蚬等底栖动物利用,转化为底栖动物产量并最终转化为河蟹产量输出;另一部分沉积于底泥中脱离循环.以上两种形式之间又存在着动态循环过程,微生物群落循环过程中扮演着极其重要的角色.因此重视微生物群落作用,加速动态循环过程,使绝大部分排泄物及残饵向第一种形式转化继而最终转化为有效生物量输出,是解决排泄物及残饵氮磷污染最有效也是最直接的方式,所有这些尚有待进一步开展深入研究.蟹、鱼混养水面现存的水草生物总量为  $45\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 所耗水草  $21\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ . 根据水生植物 PB 系数 1.8 算, 则 45t 水草年再生量为 36t, 而养殖实际消耗  $21\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ . 就水草资源利用从理论上讲仍有潜力, 考虑到草鱼对水草的破坏力, 将对水草的利用控制在养殖区水草总生物量的 35%, 养殖结束后养殖区的植被覆盖率仍可恢复到 90% 水平上.

### 3.4 存在问题与建议

由于本养殖对湖泊的氮、磷投入为负值, 因而对减缓东太湖富营养化进程起到一定的调控作用. 当前工农业污水、生活污水(尤其合成洗涤剂)对湖区造成的氮、磷污染十分严重. 投饵料的草、鳊鱼养殖也应顾及氮、磷平衡问题, 目前有些养殖区为求产量盲目投饵, 不同程度上存在养殖污染. 从长远角度而言, 大水面养殖要具有生命力, 但必须以湖泊的环境承载力为基础, 从而保证湖泊渔业的可持续发展<sup>[10]</sup>. 因此建议: 东太湖养殖业应尽快提出合理的宜渔面积比例, 视不同品种提出最高单位产量限度, 同时应加大宣传力度, 并提倡不投饲与少投饲的养殖方式, 对养殖水面进行立体开发, 控制养殖面积, 用尽可能小的水面产出高的效益及合理的产量.

## 参 考 文 献

- 1 吴庆龙等. 大水面网围精养对环境的影响及其对策. 水产学报, 1995, 19(4): 343 - 349
- 2 王友亮等. 长荡湖网围养鱼有效利用面积的研究. 河海大学学报, 1990, 18: 175 - 183
- 3 胡莉莉等. 溧湖网围养殖后对水体富营养化的影响. 水产学报, 1991, 15(4): 291 - 301
- 4 李德尚. 水产养殖手册. 北京: 农业出版社, 1993
- 5 美国温水鱼类营养分会委员会编. 温水鱼类和甲壳类的营养需要. 北京: 农业出版社, 1990
- 6 方秀珍等. 鱼池淤泥中参与氮循环的细菌和淤泥活性. 水产学报, 1993, 17(2): 137 - 145
- 7 Levins R. Evaluation in Changing Environments. Princeton: Princeton University Press. 1968
- 8 赵志模等. 群落生态学原理与方法, 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1990
- 9 大连水产学院主编. 淡水生物学(下册). 北京: 农业出版社, 1985
- 10 李辛夫, 陈宜渝. 内陆水体生物学研究及淡水渔业的可持续发展. 水生生物学报, 1998, 22(2): 174 - 180

## Effects of Pen Fish and Crab Polyculture on Burden of Nitrogen and Phosphorus in Aquatic Environment of Weed-type Lakes

SHI Weigang      WANG Bo      ZHOU Xin

(*Freshwater Fisheries Research Center of CAFS, Wuxi 214081*)

### Abstract

Pen culture has been widely developed in most freshwater lakes in China and a higher fish yield of  $7500 \text{ kg/hm}^2$  was achieved in some grass-type lakes during the implementation of the 8th Five-year Plan. In East Taihu Lake, the fish yield has now kept increasing with the increase of stocking fingerlings, feeding rate and collecting aquatic weeds, but such practice leads to the unbalance of nitrogen and phosphorous budget and causes a negative impact on the aquatic environment. However, it is somewhat difficult for the government to conduct an effective measurement to control the practice for the time being because of its benefits for the fish farmers. Hence, it is necessarily important to study the ecological practice of pen culture in the grass-type lakes for the proper maintenance of natural resources and protection of the benefits of fish farmers.

The study was conducted in Miaoguan, East Taihu Lake with a total pen area of 10 hectare ( $\text{hm}^2$ ), where crab and fish were polycultured. In this study, both nitrogen and phosphorous elements were negatively increased through the proper control of feed loading during the culture period. This practice was considered as an ecological cultural model for the sustainable aquaculture development in lakes.

The experiment was conducted to study the effects of polyculturing fish with crab in pens on the level of nitrogen and phosphorous in the lake water. With the calculation of input and output of nitrogen and phosphorous during the culture, the experimental results show that the model of polyculture of with crab in pens did not increase the level of nitrogen and phosphorous in the lake water, but it partially reduced their levels instead. During the whole production season, the input of nitrogen and phosphorous by both stocking of fish and crab seeds and loading of feed was  $27.889 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  and  $4.381 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , respectively; while the output of nitrogen and phosphorous by harvesting of fish and crab was  $41.177 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  and  $5.801 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , respectively. As a result, the level of nitrogen and phosphorous could be reduced at a rate of  $13.288 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  and  $1.420 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , respectively from pen culture in the lake. In conclusion, such culture model may result in ideal economic efficiency, low impact on the community of aquatic organisms, thus favoring the sustainable development of pen culture in lakes.

**Key Words** Pen culture, level of nitrogen and phosphorous, Taihu Lake, impact