

三角帆蚌对精养鱼塘水体主要水质因子的调控

吴军¹, 马楠¹, 施丽丽¹, 李朝晖², 安树青¹

(1. 南京大学生命科学学院, 210093, 江苏, 南京)

(2. 南京晓庄学院生物系, 210017, 江苏, 南京)

[摘要] 利用三角帆蚌作为调控水质的生物过滤材料, 建立蚌单养与鱼蚌混养两种生物调控系统并与当地传统的精养鱼塘养殖系统模式作同步比较, 分析了三角帆蚌对水体的主要水质因子变化及鱼产量的影响。养殖6个月后, 鱼蚌混养生物调控系统水质优良, 其中, 鱼蚌混养水体中单胞藻总数为340万个/mL, 蓝藻与绿藻数量之比(蓝绿比)为1:1.8, DO值为7.5 mg/L, 氨氮为2.42 mg/L, 总氮为2.76 mg/L, 磷酸磷为0.06 mg/L, 总磷为0.11 mg/L, COD为36.0 mg/L, 悬浮物为30.2 mg/L, 蚌成活率为75.0%, 鱼类成活率为71.0%。蚌单养的水体中单胞藻总数为86万个/mL, 蓝绿比为2.1:1, DO值为7.5 mg/L, 氨氮为2.00 mg/L, 总氮为2.14 mg/L, 磷酸磷为0.04 mg/L, 总磷为0.07 mg/L, COD为20.0 mg/L, 悬浮物为8.0 mg/L, 蚌成活率为85.0%。但其蓝绿比则表现为蓝藻爆发型。作为无蚌对照组的养鱼系统中, 水质逐渐恶化, 鱼类生长受到抑制, 易发生病害, 鱼类成活率仅为58.8%。研究表明: 鱼蚌混养系统可有效地改良水质, 提高鱼类的存活率。

[关键词] 三角帆蚌, 鱼蚌共养, 水质因子, 生物调控

[中图分类号] Q959.9, **[文献标识码]** A, **[文章编号]** 1001-4616(2005)03-0092-05

Freshwater Mussel, *Hyriopsis Cumingii* Lea As a Biocontrol Tool to Regulate Eutrophical Farming Water

Wu Jun¹, Ma Nan¹, Shi Lili¹, Li Zhao-hui², An Shu-qing¹

(1. School of Life Science, Nanjing University, 210093, Naniing, China)

(2. Department of Biology, Nanjing Xiaozhuang College, 210017, Nanjing, China)

Abstract: To discuss *hyriopsis cumingii* Lea's capability of regulating eutrophical water, the mussel was chosen as the water quality regulation bio-tool. Two experimental systems of water bio-regulation were established accordingly: (1) simplex mussel cultivating system, (2) mussel-fishes co-cultivating system. The traditional fish cultivating system was also established as control system. Finally, the main water factors of fishpond water in lakeshore and the impact of fish yield were analyzed. Here are the results, after 6 months cultivation, the quality of the water in experimental systems were good. In the mussel-fishes co-cultivating system, the level of DO was 7.5 mg/L, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 2.42 mg/L, TN 2.76 mg/L, $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 0.06 mg/L, TP 0.11 mg/L, COD 36.0 mg/L, suspended substance 30.2 mg/L and algae 3.4×10^6 ind./mL; the survival rate of mussel was 75.0%, fish 71.0%; the ratio of the quantity of Cyanophyta to Chlorophyta (Ra for short) was 1:1.8. In the simplex mussel cultivating system, the level of DO was 7.5 mg/L, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 2.00 mg/L, TN 2.14 mg/L, $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 0.04 mg/L, TP 0.07 mg/L, COD 20.0 mg/L, suspended substance 8.0 mg/L and algae 8.6×10^5 ind./mL; the survival rate of mussel was 85.0%. But the Ra was 2.1:1, which indicates that this community may have water bloom in the future. In the control group, water quality worsened. The growth of fish was restrained and the worse water quality even threatened the survival of the fish. the survival rate of fish was only 58.8%. The results show that the mussel-fishes co-cultivating system efficiently decontaminated the water and increase the survival rate of fish to some extent.

Key words: *hyriopsis cumingi* Lea, mussel-fishes co-cultivating system, water quality factor, bio-regulation

收稿日期: 2004-12-20.

基金项目: WWF 项目(02-YZ04)、国家 863 计划预研究资助项目(2002AA601011).

作者简介: 吴军, 1981—, 硕士研究生, 主要从事水生生物学的学习与研究. E-mail: jwu8199@sina.com

通讯联系人: 安树青, 1963—, 教授, 博士生导师, 主要从事湿地生态学的教学与研究. E-mail: Anshq@nju.edu.cn

0 引言

水体的富营养化问题是现今学术界亟待解决的热点问题之一,解决富营养化问题的核心是抑制浮游植物的过量生长,目前全世界都在开展这方面的研究,其中生物操纵法正日益受到重视^[1].在富营养化水体中,贝类对浮游生物生物量的影响具有重要的作用,以往的研究主要以贻贝和牡蛎为对象,以藻类数量和叶绿素含量为指标,观察贝类对藻类的滤食作用[Owen^[2],Smaal 等^[3],Shpigel 等^[4],Shpigel 等^[5],Riisgard^[6]].Smaal 等^[3]及 Reeders^[7]在研究了斑马贻贝的滤水速率和对浮游藻类的去除速率后,提出了利用淡水双壳类对荷兰的几个淡水湖泊开展生物调控,在水质改善、减少浮游藻类数量等方面取得了较明显的效果.本文利用土著的滤食性水生动物——三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii* Lea),研究维持鱼池正常物质循环和能量循环的技术措施.本文作为国家“863”计划项目“大型底栖动物控藻与净化水质技术研究”预研究内容之一;受世界自然基金会委托,借在湖南西洞庭湖区开展“退田还湖,种草养鱼,养蚌抑藻,调控水质”生态建设研究之机,通过鱼蚌混养,观察三角帆蚌滤食对水体中藻类及水化学指标的影响,以图建立一个鱼蚌共生的良性循环的生态系统模式,为实现湿地水资源长期保护和可持续利用的目标提供一条参考途径.

1 材料与方法

1.1 水源

西洞庭湖天然水体.

1.2 场地选择与预处理

在湖南省津市渡口镇天鹅村的湖滩防洪坝内选择三个相邻鱼塘,进行清池消毒,各池塘平均水深 1.8 m,每 hm^2 用 1 500 kg 生石灰泼洒消毒,每 hm^2 播施 5 250 kg 有机肥(以鸡粪、猪粪为主,经封闭发酵腐熟后使用)作为基肥.

1.3 实验设置

实验组分为鱼类单养型(对照系统)、鱼蚌混养型(实验系统一)和三角帆蚌单养型(实验系统二).

1.4 投放规格及规模

三角帆蚌为 50 只/kg,草鱼为 5 尾/kg,鳊鱼为 20 尾/kg,鲤鱼为 10 尾/kg.三角帆蚌单养型养殖规模为 0.4 hm^2 (6 亩)水面,投放三角帆蚌 30 000 只;鱼类单养型养殖规模为 0.67 hm^2 (10 亩)水面,投放草鱼 500 尾,鳊鱼 300 尾,鲤鱼 200 尾;鱼蚌混养型养殖规模为 0.67 hm^2 (10 亩)水面,投放鱼种规格、数量及种类同鱼类单养型,并投放三角帆蚌 50 000 只(与蚌单养型等密度).

1.5 投饵条件

每天仅对鱼类单养型和鱼蚌混养型投喂青饲料和市售草鱼颗粒饵料,投饵量依鱼类的体重增长及季节、气候做适当调整.青饲料种类主要有种植的黑麦草、苏丹草、菊苣草、杂交狼尾草和湖泊中直接打捞的苦草、菹草及轮叶黑藻等水草,原则是单养型和混养型每天投喂相同的草料种类和重量.

1.6 三角帆蚌投放模式

采用笼养法,用毛竹打桩、架设横栏,将蚌置于聚乙烯网笼内悬吊养殖,网笼大小为 40 cm × 40 cm × 20 cm,网目为 2.0 cm × 2.0 cm,排距为 2.5 m,笼距为 1 m,每网笼 10 只.

1.7 水质分析

另外,依照黄祥飞的湖泊生态调查观测与分析方法^[8]

为确保实验正常进行,各池按生产常规,于 7、8、9 月泼洒生石灰水 2 次/月,用量 1 kg/ hm^2 ,防止鱼蚌疾病爆发.

2 结果

2.1 鱼池单胞藻密度变化

分别于 4、6、8、10 四个月份的中旬显微镜镜检检测各实验鱼塘水体中蓝藻和绿藻两种单胞藻的生长情况,统计结果见表 1.

万方数据

表 1 各实验鱼塘水体中单胞藻生长情况

养殖时间 (月份)	单养蚌池		鱼蚌混养池		单养鱼池	
	蓝藻/ ($\times 10^7$ 个/L)	绿藻/ ($\times 10^7$ 个/L)	蓝藻/ ($\times 10^7$ 个/L)	绿藻/ ($\times 10^7$ 个/L)	蓝藻/ ($\times 10^7$ 个/L)	绿藻/ ($\times 10^7$ 个/L)
4	6	15	6	15	6	15
6	16	28	11	68	16	30
8	20	36	90	220	306	688
10	58	28	120	220	210	450

表 1 结果表明,各实验鱼塘水体中的单胞藻生物量,总体上均随着养殖时间推移呈上升趋势,但不同水体的藻生物量上升速度差异很大,其中单养鱼池的藻类生物量增长了 31.4 倍,蓝绿比(蓝藻和绿藻的比值)为 1:2.1;鱼蚌混养池的藻类生物量增长了 16.2 倍,蓝绿比为 1:1.8,单养蚌池的藻类生物量增长了 4.1 倍,蓝绿比为 2.1:1.

2.2 鱼池水质指标

投放鱼种后,喂养期间各月的水质指标列于表 2~4(表中第 2 至第 8 列数值单位均为 mg/L).

表 2 鱼类单养型鱼池饲养水体各项水质指标

月份	氨氮	总氮	磷酸磷	总磷	COD	DO	悬浮物
4	0.42	0.70	0.02	0.04	24	8.0	18.0
6	0.98	1.32	0.06	0.10	44	5.0	26.5
8	1.42	1.92	0.09	0.14	62	5.5	44.8
10	2.38	2.66	0.12	0.17	74	5.5	58.0

表 3 鱼蚌混养鱼池饲养水体各项水质指标

月份	氨氮	总氮	磷酸磷	总磷	COD	DO	悬浮物
4	0.42	0.70	0.02	0.04	26	8.0	20.0
6	1.16	1.28	0.04	0.08	18	6.5	16.5
8	1.66	1.88	0.04	0.09	32	6.0	34.5
10	2.42	2.76	0.06	0.11	36	7.5	30.2

表 4 三角帆蚌单养池饲养水体各项水质指标

月份	氨氮	总氮	磷酸磷	总磷	COD	DO	悬浮物
4	0.42	0.70	0.02	0.04	25	8.0	20.0
6	0.68	0.94	0.00	0.02	12	7.5	8.0
8	1.22	1.42	0.02	0.06	22	7.0	11.5
10	2.00	2.14	0.04	0.07	20	7.5	8.0

表 2 为对照组的单养型鱼池,结果表明:氨氮、磷酸磷、化学耗氧量及悬浮物呈逐月上升趋势,而溶解氧呈大幅度下降.实验系统一中鱼蚌混养鱼池中溶解氧基本保持不变,其他各项指标虽然也呈逐月上升,但上升值远小于对照组.实验系统二中三角帆蚌单养池各项水质指标上升值小于实验系统一.

2.3 11 月底各池鱼蚌成活率、产值统计

养殖至 11 月底,将各池鱼、蚌成活率及增长量列入表 5,其中鱼产量为包括 10 月 1 日前和 10 月 14 日的累计收获量,三角帆蚌产量为 11 月底一次性统计得出.

表 5 饲养 11 月底各池鱼蚌成活率、鱼蚌增长量

测试项目	鱼成活率/%	蚌成活率/%	鱼增长量/(kg/hm ²)	蚌平均重/(g/只)	蚌增长量/(kg/hm ²)
鱼类单养	58.8		5.6		
鱼蚌混养	71.0	75.0	5.3	40	81
蚌单养		85.0		48	118.50

表 5 结果表明:就鱼产量而言,鱼蚌混养池的鱼增长量小于鱼类单养池,蚌增长量小于蚌单养池,但鱼蚌混养收获生物量为 10.7 kg/hm²,而鱼类单养收获生物量仅为 5.6 kg/hm²,蚌单养收获生物量为 7.9 kg/hm².

3 讨论

生物调控这一概念在 20 世纪 70 年代开始出现,其重点在于研究较高营养级的生物对水质的影响.多数方法集中于滤食性鱼、草食性鱼以及浮游动物的研究.如何利用双壳类控制藻类、调控水体环境,将成为生物调控可持续发展的一个重要方面. Doris Soto, Guillermo Mena 等^[9]利用淡水贝类的滤食作用对饲养大马哈鱼产生的富营养化水体进行生物控制,其结果表明贝类对湖水有显著的滤食影响,并可能在减少湖水营养物质 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 等方面起重要作用.三角帆蚌滤水能力很强,而且颇具经济价值,这是本文以三角帆蚌作为控制水污染的工具物种的原因.

随着鱼种规格和投饵量的增加,残饵、粪便及 N、P、K 等无机物质大量增加,促进了藻类的生长,甚至引起种群爆发,造成水质恶化.本文根据生物调控原理利用三角帆蚌滤食作用清除水体中的藻类,从而间接降低磷酸磷、总磷、COD 和悬浮物,达到改善水质的目的.实验结果表明:截至 10 月份实验结束时,磷酸磷、总磷、COD 和悬浮物水质指标变化趋势为:鱼单养池 > 鱼蚌混养池 > 蚌单养池;而氨氮和总氮的水质指标变化趋势为:鱼蚌混养池 > 鱼单养池 > 蚌单养池,这是由于鱼蚌混养池中总养殖生物量最大(鱼 + 蚌),其排泄与排遗产生的自污染物导致氨氮指标上升.

Jorgenson^[10]利用生态模型对湖泊的生物调控进行模拟,结果显示,TP < 0.12 mg/L 被认为是生物调控取得成功的关键因素之一.本实验结果中,单养鱼池 TP 为 0.17 mg/L,超过了富营养化水体指标,而鱼蚌混养池 TP 为 0.11 mg/L,尚未达到富营养化水平,三角帆蚌单养池 TP 最低,水质最好.仅这一项指标而言,在湖泊周边地带的水体单养珍珠蚌的模式似乎最好(饲养期间不投饵).

藻类生物量及组成结构也是衡量水环境优劣的重要指标.前者反映了水体的富营养化程度,后者则预测了有害藻和有益藻未来的竞争格局.就藻类生物量指标来看,单养蚌池的藻类生物量最少,仅增长了 4.1 倍;鱼蚌混养池则增长了 16.2 倍;单养鱼池的藻类生物量最大,增长了 31.4 倍.但对水生动物而言,绿藻比蓝藻更具有价值,蓝绿比(蓝藻和绿藻的比值)决定了该水体未来浮游植物的群落结构.蓝绿比越小,意味着水环境越好.本实验中,三角帆蚌单养池蓝绿比值 > 2,鱼蚌混养池和单养鱼池蓝绿比值 < 1,说明蚌单养池水体未来发展趋势将是蓝藻为优势的群落结构.卢敬让等^[11]认为:虽然蓝藻不是河蚌适口的饵料,但是河蚌独具晶杆体可分泌晶杆酶消化蓝藻,另外河蚌池中的绿藻与蓝藻竞争营养,也可以对蓝藻产生抑制作用.而我们的研究结果与卢敬让等的研究结果不完全一致,从藻类生物量来看,河蚌的确有抑止蓝藻总量的作用,但从蓝绿比来看,池中绿藻与蓝藻竞争营养是处于劣势的,对抑止蓝藻生长没有贡献.这是由于绿藻更易于被蚌滤食消化,这与龚世园等^[12]的研究也是相符的.

纯蚌养殖模式蓝绿比最大,其收获生物量为 7.9 kg/hm² 蚌,经济效益较差,不被当地农民接受,难以推广.而鱼蚌混养池各项水质指标小于富营养化水体,蓝绿比仅为 1:1.8,同时收获生物量为三种模式中最大的(10.7 kg/hm²),且经济效益较好,易于推广.鱼蚌混养能充分利用立体水面,最大限度地发挥水体的养殖潜力,实现良性物质循环,达到鱼蚌双丰收,但鱼蚌混养对浮游生物的生物量影响的研究结论不尽相同,Kautsky N 等^[13]、阮景荣等^[14]的研究认为贝类的代谢产物在鱼类游动的搅水作用和贝类的滤食活动作用下,可增加水层中营养物质,特别是 N、P 的含量并促进其循环,从而促进浮游植物的生长.而 Smith^[15]、李琪等^[16]的研究则认为贝类滤食作用使浮游植物的生物量下降.我们的研究结果也表明,鱼蚌混养与鱼类单养相比,控藻效果更好.之所以有上述不同的结论,我们认为,有可能是鱼蚌混养的群落组成不同,以及其他环境因素的差异造成的.关于鱼蚌混养的合理比例结构研究及该模式中不同生物对生态系统的长期平衡稳定性有待进一步研究.

[参考文献]

- [1] 李春雁,崔毅.生物操纵法对养殖水体富营养化防治的探讨[J].海洋水产研究,2002,23(1):71—75.
- [2] Owen G. Feeding and digestion in the bivalve[J]. Advances in Comparative Physiology and Biochemistry, 1974, (5):1—35.

- [3] Smaal A C, Vonck W, Prins T C. The functional role of mussels in the oosterschelde estuary [J]. J Shellfish Res, 1989, 8(2): 472.
- [4] Shpigel M, Lee J J, Soohoo B. Fish - oyster polyculture in warm water marine ponds [J]. J Shellfish Res, 1989, 8(2): 481.
- [5] Shpigel M, Blaylock R A. The pacific oyster as a biological filter for a marine fish [J]. Aquaculture, 1991, 92(2-3): 187—197.
- [6] Riisgard H U. Filtration rate and growth in the blue mussel *Mytilus edulis* L: Dependence on algal concentration [J]. J Shellfish Res, 1991, 19(1): 29—36.
- [7] Reenders H H, A Bij De Vaate. Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): a new perspective for water quality management [J]. Hydrobiologia, 1990, (200—201): 437—450.
- [8] 黄祥飞. 湖泊生态调查观测与分析 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [9] Doris Soto, Guillermo Mena. Filter feeding by the freshwater mussel, *Diplodon chilensis*, as a biocontrol of salmon farming eutrophication [J]. Aquaculture, 1999, 171(1): 65—81.
- [10] Jorgenson S E, De Bernardi R. The use of structural dynamic models to explain successes and failures of biomanipulation. Hydrobiologia [J]. 1998, 379(1-3): 147—158.
- [11] 卢敬让, 李德尚, 杨红生, 等. 海水池塘鱼贝施肥混养生态系统中贝类与浮游生物的相互影响 [J]. 水产学报, 1997, 21(2): 158—163.
- [12] 龚世园, 朱子义, 杨学芬, 等. 网湖绢丝丽蚌食性的研究 [J]. 华中农业大学学报, 1997, 16(6): 589—593.
- [13] Kautsky N, Wallentinus I. Nutrient release from a Baltic *Mytilus* - red algal community and its role in benthic and pelagic productivity [J]. Ophelia, 1980, (suppl): 17—30.
- [14] 阮荣景, 戎克文. 罗非鱼对微型生态系统浮游生物群落和初级生产力的影响 [J]. 应用生态学报, 1993, 4(1): 65—73.
- [15] Smith D W. Biological control of excessive phytoplankton growth and enhancement of aqua - cultural production [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1985, (42): 1940—1945.
- [16] 李琪. 放养鲢鱼对水库围隔浮游生物群落的影响 [J]. 生态学报, 1993, 13(1): 30—37.

[责任编辑: 孙德泉]