

底栖动物螺蛳对池塘底泥及水质的原位修复效果研究*

孟顺龙 吴 伟 胡庚东 瞿建宏 范立民 陈家长[#]

(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 中国水产科学研究院内陆渔业生态环境和资源重点开放实验室, 农业部长江下游渔业生态环境监测中心, 江苏 无锡 214081)

摘要 以螺蛳为净化生物, 研究了直接向养殖塘中放养螺蛳对鲫鱼养殖塘的底泥和水质的改善效果。结果表明, 通过直接放养螺蛳使得养殖塘水质的污染状况有所缓解, 然而改善前后水体的内梅罗综合污染指数仍同属于重污染等级。因此仅采用直接放养螺蛳的方法对养殖塘进行底泥修复还不能使养殖塘水质得以彻底净化, 应与其他修复技术配合使用, 从而达到更好的底泥修复和水质净化效果; 总体来说, 螺蛳的放养量越大, 水质净化效果越好, 但并不是无限制地增加螺蛳的放养量都对水质净化有利。

关键词 底泥修复 螺蛳 养殖塘 环境效应

Preliminary study on the restoration effect of snail on the sediment and water of ponds MENG Shunlong, WU Wei, HU Gengdong, QU Jianhong, FAN Linin, CHEN Jiazhong. (Freshwater Fisheries Research Center, Key Open Laboratory of Ecological Environment and Resources of Inland Fisheries, Chinese Academy of Fishery Sciences, Fishery Eco-Environment Monitoring Center of Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Wuxi Jiangsu 214081)

Abstract: The snail (*C. cathayensis*) was applied as the purification biological and stocked into carp culture pond directly to investigate the restoration effect of snail on the sediment and water of ponds. After *C. cathayensis* stocking for a certain period of time, the water quality of pond was slightly improved, while it still belonging to the heavy pollution grade according to the Nemerow pollution index. Snail stocking could not thoroughly purify the water quality of pond, so it should be applied together with other restoration technologies so as to better improve the sediment and water quality of pond. Increasing the snail stocking quantity in a certain rang could better improve the water quality of pond, and the optimum stocking quantity need further study.

Keywords: sediment restoration; snail; pond; environmental effect

随着渔业生产水平的不断进步, 池塘单位水体的鱼载力大大提高, 投饲量也随之大幅度增加。有研究表明, 在池塘养殖投喂的湿饲料中, 有 5%~10% 未被鱼类食用^[1]; 而被鱼类食用消化的饲料中又有 25%~30% 以粪便的形式排出^[2]。高密度放养、大量施肥投饵的养殖模式, 致使养殖塘水质不断恶化, 污染日趋严重^[3], 而养殖塘水质的迅速恶化直接导致换水量和换水频率的增加, 养殖废水的排放还会加剧近海、湖泊等水域的富营养化进程。池塘内外源污染的加重, 可使养殖生态环境遭到极大破坏, 也会给水产养殖业造成巨大经济损失。因此, 对养殖废水净化修复技术的研究越来越受到重视^[4-6]。

利用生物净化水质是根据生物操纵 (Bio-manipulation) 原理进行的, 其主要是通过高营养级生

物摄食低营养级生物或有机碎屑, 从而间接降低水体中氮、磷等营养盐的含量, 并最终使水质得以净化。底栖动物螺蛳 (*C. cathayensis*)、贝类等能通过食物链摄食藻类、沉水植物和有机碎屑等^[7], 从而间接地降低水体中的氮、磷含量。目前, 利用螺蛳、贝类等净化水质的研究方兴未艾^[8]。TAGUCHI 等^[9]的研究表明, 大型底栖动物对氮的去除能力在 12~331 mg/m², 对磷的去除能力在 1.9~52.9 mg/m²。石岩等^[10]报道了螺蛳能有效降低水体中氮、磷、叶绿素 a 等污染物浓度。赵沐子等^[11]比较了不同贝类对水质的净化功能。结果表明, 与褶纹冠蚌相比, 螺蛳对叶绿素 a 的去除能力更强, 而褶纹冠蚌对 SS 的去除能力更好。张根芳等^[12]、陈家长等^[13]的研究认为, 鱼、蚌混养能使水体中污染物浓

第一作者: 孟顺龙, 男, 1982 年生, 硕士, 助理研究员, 研究方向为渔业环境保护。[#] 通讯作者。

* 江苏省水产三项工程项目 (No. PJ2006-50); 现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目 (No. CARS-49); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目 (No. 2007JBFA03)。

度显著降低。但已有的研究大都是采用吊养方式,通过滤食性动物滤食表层水(<50 cm)中的浮游植物或有机碎屑等使养殖废水得以净化。而通过直接向池塘中放养底栖动物来改善底泥从而达到净化水质的研究尚未见报道。

为此,本研究以螺蛳为净化生物,研究了直接向养殖塘中放养螺蛳对鲫鱼养殖塘的底泥和水质的改善效应。与前人的研究相比,本研究简化了该种生物净化方式的操作过程,可节省人力和物力等资源。

1 材料与方法

1.1 池塘及底泥修复生物

本试验在洪泽湖畔的洪泽县水产良种场池塘进行,塘中螺蛳资源丰富。试验池塘为标准化鱼类养殖池塘,每个池塘的面积均为 5 000 m² (100 m×50 m),水深 1.5 m。选择质量均为(4.3±1.2) g 的螺蛳作为净化生物。

1.2 试验方法

设置 3 个试验组,分别为对照组(CK)、螺蛳投放量为 225 g/m² 的试验组(P I)、螺蛳投放量为 450 g/m² 的试验组(P II)。每个试验设 2 组平行,螺蛳的投放尽量做到全池均匀。试验时间为 7 月 20 日至 10 月 27 日,共计 100 d。试验期间平均水温为(30±2)℃。每个池塘中放养的花鲢夏花、草鱼夏花 15、3、2 尾,试验期间的养殖管理措施一致且不换水。

1.3 样品采集及测定

试验开始后每隔 30 d 在对照组和试验组采集水质样品和底泥样品。采集方法为“五点法”,即在池塘的 4 个转角处和中心处各设置 1 个采样点,将 5 个采样点采集的样品均匀混合后再进行分析。

1.3.1 水质样品

水质样品在水面下 50 cm 处采集。测定指标包括 pH、DO、透明度(SD)、TN、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、TP、PO₄³⁻-P、高锰酸盐指数。其中 pH、SD 和 DO 均在现场分析测定。各项水质指标的测试方法均按文献[14]进行。

1.3.2 底泥样品

底泥样品用面积为 1/16 m² 的彼德生采泥器采集。测定指标主要为全氮和全磷,测定方法分别按照《土壤全氮测定方法 半微量开氏法》(GB/T 7173—87)和《土壤全磷测定法》(GB/T 9837—

1998)进行。

1.4 评价方法

根据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)对各单项污染指标进行评价,并计算各污染指标的去除率(见式(1))。同时,以 GB 3838—2002 III 类水为标准,选择 TN、TP、高锰酸盐指数、NH₄⁺-N 4 项指标,采用内梅罗综合污染指数法对池塘水质进行综合评价(见式(2)和式(3))。内梅罗水质指数污染等级划分标准^[15]见表 1。

$$R_c = \frac{c_s - c_0}{c_0} \times 100\% \quad (1)$$

$$WQI = \sqrt{\frac{(W_i)_{\max}^2 + \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i\right)^2}{2}} \quad (2)$$

$$W_i = \frac{c_i}{S_i} \quad (3)$$

式中:R_c为某污染指标去除率,%;c₀和 c_s分别为对照组和试验组池塘水质(或底泥)的某污染指标浓度,mg/L或g/kg。WQI 为内梅罗综合污染指数;W_i为污染指标 i 的单项污染指数;n 为参评的污染指标数;c_i为污染指标 i 的质量浓度实测值,mg/L;S_i为污染指标 i 在某一评价等级的对应浓度标准值,mg/L。

表 1 内梅罗水质指数污染等级划分标准

Table 1 Classification of the standard of water quality by Nemerow pollution index

WQI	≤1	1~2	2~3	3~5	>5
污染等级	清洁	轻污染	污染	重污染	严重污染

2 结果与讨论

2.1 水质污染指标的动态变化

试验期间,定期监测了对照组和试验组的主要水质指标,对池塘水质进行综合评价,同时分析了各污染指标的去除状况,结果分别如表 2 和图 1 所示。

从各单项水质指标的变化情况来看,试验期间,CK 的 pH 除在试验开始前符合《渔业水质标准》(GB 11607—89)外,试验期间均高于 GB 11607—89 的规定值;而试验前后 P I 和 P II 的 pH 均在 7.3~7.8,均符合 GB 11607—89 的要求。CK、P I 和 P II 的 DO 分别在 6.32~7.27、7.45~8.02、7.26~8.05 mg/L,且在相同采样时间(30、60、90 d)下,P I 和 P II 的 DO 浓度均明显高于 CK,可能是由于放养螺蛳后,试验组底泥中的残饵等有机物的浓度有所降低,其分解耗氧对 DO 的消耗量有所降低。随着养殖时间的延续,CK 的 SD 总体有所降低,而 P I 和 P II 的

表2 对照组和试验组的主要水质指标和WQI的变化

Table 2 The main water quality indicator and WQI variation of control group and experimental group

试验 分组	采样时间 /d	水质指标										WQI
		pH	DO /(mg·L ⁻¹)	SD /cm	TN /(mg·L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N /(mg·L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ -N /(mg·L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N /(mg·L ⁻¹)	TP /(mg·L ⁻¹)	PO ₄ ³⁻ -P /(mg·L ⁻¹)	高锰酸盐指数 /(mg·L ⁻¹)	
CK	0	7.2	7.00	31	5.46	0.30	1.30	0.23	0.19	0.10	12.24	4.16
	30	8.9	7.27	25	7.56	0.62	1.70	0.22	0.17	0.10	14.70	5.72
	60	8.7	6.58	28	6.39	0.30	1.81	0.18	0.18	0.08	14.46	4.85
	90	8.8	6.32	25	6.12	0.30	1.24	0.23	0.11	0.06	10.19	4.59
P I	0	7.4	7.53	32	5.42	0.31	1.27	0.22	0.18	0.08	12.28	4.13
	30	7.6	8.02	32	7.01	0.49	1.46	0.20	0.13	0.07	13.16	5.28
	60	7.3	7.45	33	5.25	0.21	1.01	0.14	0.11	0.05	10.12	3.95
	90	7.7	7.68	35	5.07	0.17	0.92	0.12	0.07	0.03	7.53	3.78
P II	0	7.6	7.26	33	5.45	0.30	1.28	0.22	0.20	0.09	12.32	4.16
	30	7.3	7.55	35	6.68	0.43	1.43	0.20	0.12	0.09	13.08	5.04
	60	7.8	8.05	35	5.36	0.19	0.96	0.13	0.10	0.04	9.43	4.02
	90	7.8	7.59	37	4.76	0.14	0.83	0.11	0.07	0.03	7.04	3.55

表3 对照组和试验组底泥的全氮、全磷质量浓度变化

Table 3 The variation of TN and TP concentration in the sediment of control group and experimental group

采样时间/d	全氮/(g·kg ⁻¹)			全磷/(g·kg ⁻¹)		
	CK	P I	P II	CK	P I	P II
0	0.972	0.976	0.977	0.516	0.519	0.521
30	1.229	1.103	1.035	0.596	0.549	0.536
60	1.533	1.218	1.141	0.675	0.581	0.562
90	1.735	1.306	1.212	0.762	0.608	0.579

SD 则均呈逐渐升高的趋势,试验结束时 P I、P II 的 SD 分别比 CK 升高了 40%和 48%。

从表 2 可以看出,在相同采样时间(30、60、90 d)下,与 CK 相比,P I 和 P II 的 TN、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、TP、PO₄³⁻-P、高锰酸盐指数均明显降低。且除 60 d 采样测定的 TN 和 30 d 采样测定的 PO₄³⁻-P 指标外,在相同采样时间(30、60、90 d)下,P II 各项水质污染指标均相应低于 P I 或与 P I 相等。由图 1 可见,试验期间,P I 和 P II 的 TN、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、TP、PO₄³⁻-P、高锰酸盐指数的去除率分别为 7.3%~17.8%、21.0%~43.3%、14.1%~44.2%、9.1%~47.8%、23.5%~38.9%、30.0%~50.0%、10.5%~30.0%和 11.6%~22.2%、30.6%~53.3%、15.9%~47.0%、9.1%~52.2%、29.4%~44.4%、10.0%~50.0%、11.0%~34.8%。

由表 2 还可见,CK、P I 和 P II 水质的 WQI 分别为 4.16~5.72、3.78~5.28 和 3.55~5.04,且在相同采样时间下,CK 水质的 WQI 均高于 P I 和 P II。试验结束时,P I、P II 水质的 WQI 分别为 3.78、3.55,说明通过向养殖塘中直接放养螺蛳使得池塘水质的污染状况有所缓解,然而,WQI 仍均

介于 3~5,同属于重污染等级。这既显示出内梅罗水质指数污染等级划分略显粗略,同时也说明仅仅采用直接放养螺蛳的方法对养殖塘进行底泥修复还不能使养殖塘水质得以彻底净化,还应与其他修复技术配合使用,从而达到更好的底泥修复和水质净化效果。

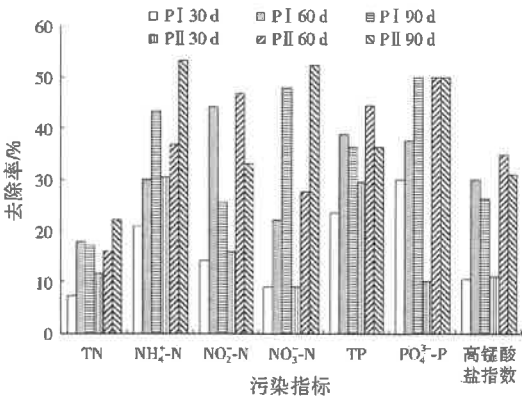


图1 主要水质污染指标的去除状况

Fig.1 Removal rate of main water quality indicator

2.2 底泥污染指标的动态变化

试验期间,对 CK、P I、P II 底泥的全氮、全磷浓度进行了定期测定,并分析了全氮、全磷的去除情况,结果分别如表 3 和图 2 所示。

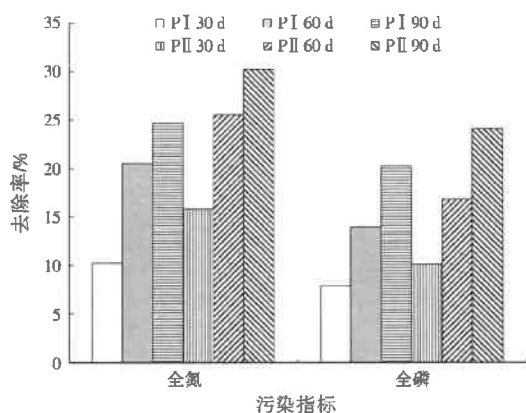


图2 主要底泥污染指标的去除状况

Fig. 2 Removal rate of main pollutants in sediment

由表3可见,试验前,3者底泥的全氮、全磷浓度差别均不显著。随着养殖时间的延长,CK、P I、P II底泥的全氮、全磷浓度均逐渐增加,但相同采样时间(30、60、90 d)下,全氮、全磷的浓度均为CK>P I>P II。同时,由图2可见,P I、P II底泥的全氮去除率分别在10.25%~24.73%、15.79%~30.14%,全磷去除率分别在7.89%~20.21%、10.07%~24.02%。

可见,通过向养殖养殖塘中直接放养螺蛳能够达到改善底泥、净化水质的效果,且总体来说螺蛳的放养量越大,水质净化效果越好。但由于螺蛳的呼吸耗氧量是随着其放养量的增加而加大的,当螺蛳的放养量达到一定程度时,最终会导致螺蛳和鱼类竞争水体中的DO,因而并不是无限制地增加螺蛳的放养量都对净化水质有利,至于螺蛳的最佳放养量尚需进一步研究。

3 结论

(1) 通过向养殖池塘中直接放养螺蛳使得池塘水质的污染状况有所缓解,然而WQI仍同属于重污染等级。因此仅仅采用放养螺蛳的方法对池塘进行底泥修复还不能使池塘水质得以彻底净化,还应与其他修复技术配合使用,从而达到更好的底泥修复和水质净化效果。

(2) 总体来说,螺蛳的放养量越大,水质净化效果越好。但并不是无限制地增加螺蛳的放养量都对净化水质有利,至于螺蛳的最佳放养量尚需进一步研究。

参考文献:

[1] 刘长发,蔡志仁,何洁,等. 环境友好的水产养殖业——零污水

排放循环水产养殖系统[J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(3): 220-226.

- [2] 温志良,张爱军,温琰茂. 集约化淡水养殖对水环境的影响[J]. 水利渔业, 2000, 20(4): 19-20.
- [3] 房英春,刘广纯,田春. 养殖水体污染对养殖生物的影响及水体的修复[J]. 中国水产, 2005(4): 78-80.
- [4] INOUE T, FUKUE M, MULLIGAN C N, et al. In situ removal of contaminated suspended solids from a pond by filtration [J]. Ecological Engineering, 2009, 35(8): 1249-1254.
- [5] GUERDAT T C, LOSORDO T M, CLASSEN J J, et al. Evaluating the effects of organic carbon on biological filtration performance in a large scale recirculating aquaculture system[J]. Aquacultural Engineering, 2011, 44(1): 10-18.
- [6] KONNERUP D, TRANG N T D, BRIX H. Treatment of fish-pond water by recirculating horizontal and vertical flow constructed wetlands in the tropics[J]. Aquaculture, 2011, 313(1/2/3/4): 57-64.
- [7] CONNOR M S, TEAL J M, VALIELA I. The effect of feeding by mud snails, *Ilyanassa obsoleta* (Say), on the structure and metabolism of a laboratory benthic algal community[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1982, 65(1): 29-45.
- [8] TANTICHODOK P, LOPEZ G R. Relative importance of phytoplankton and organic detritus as food source for the suspension-feeding bivalve, *Mytilus edulis*, in Lond Islands [J]. J. Shellfish Res., 1988, 7(1): 178.
- [9] TAGUCHI K, NAKATAB K. Evaluation of biological water purification functions of inland lakes using an aquatic ecosystem model [J]. Ecological Modelling, 2009, 220 (18): 2255-2271.
- [10] 石岩,张喜勤,伏春艳,等. 浮游动物对净化湖泊富营养化的初步探讨[J]. 东北水利水电, 1998, 164(3): 31-33.
- [11] 赵沐子,费志良,郝忱,等. 不同贝类对水质净化效果的比较[J]. 水产科学, 2006, 25(3): 133-135.
- [12] 张根芳,邓闯中,方爱萍,等. 蚌、鱼混养对几种水污染指标的影响[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(2): 156-161.
- [13] 陈家长,何尧平,孟顺龙,等. 蚌、鱼混养在池塘养殖循环经济模式中净化效能研究[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(2): 41-46.
- [14] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [15] 李建军,冯鑫华,喻龙. 辽东湾浅水区水环境质量现状评价[J]. 海洋环境科学, 2001, 20(3): 42-45.

编辑:卜岩枫 (修改稿收到日期:2011-02-26)