

不同混养模式下中华鲟养殖池透明度变化及其影响因素*

方磊¹, 刘健², 周升³, 吕昊泽¹, 陈锦辉², 吴建辉², 徐嘉楠², 郑跃平², 张饮江¹, 沈和定^{1**}
(1: 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)
(2: 上海市长江口中华鲟自然保护区管理处, 上海 200092)
(3: 浙江工商大学统计与数学学院, 杭州 310018)

摘要: 中华鲟与背角无齿蚌和鲢鳙混养的池水透明度(SD)对比试验表明, 1[#]池(对照)、2[#]池(挂养背角无齿蚌)、3[#]池(混养鲢鳙)透明度平均值分别为 11.92、16.45、17.45 cm, 分别较试验本底值依次提高 26.69%、56.67%、66.19%。2[#]、3[#]池的透明度显著大于 1[#]池, 最高可达 1 倍。3 个池透明度与各水质指标关系的 Panel Data 模型分别为: $SD_1 = -0.0072 \text{ TSS} + 0.8353 \text{ NH}_4^+ \text{-N} - 2.1711 \text{ TN} + 0.6195 \text{ TP} - 0.0405 \text{ COD} + 16.7815$, $SD_2 = 0.0030 \text{ TSS} + 3.8864 \text{ NH}_4^+ \text{-N} + 0.1893 \text{ TN} - 12.4585 \text{ TP}^{***} - 0.0104 \text{ COD} + 24.5306$, $SD_3 = 0.0381 \text{ TSS}^* + 3.7821 \text{ NH}_4^+ \text{-N} + 0.6003 \text{ TN} - 15.0444 \text{ TP}^{***} - 0.4078 \text{ COD}^{**} + 34.2992$ (*、**、*** 分别表示显著、较显著、极显著相关)。TP 是影响中华鲟养殖池透明度的主要指标, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、TN、COD 是影响透明度的间接指标, 而 TSS 是影响透明度的直接指标。在悬浮物浓度较高、水体浑浊的中华鲟养殖池水体中, 鲢鳙的放养对透明度的提高效果显著优于背角无齿蚌。

关键词: 中华鲟; 背角无齿蚌; 鲢鳙; 透明度; 影响因素; Panel Data

Transparency variation and its influencing factors between different polyculture models with *Anodonta woodiana* and *Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis* in Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* culture pond

FANG Lei¹, LIU Jian², ZHOU Sheng³, LÜ Haoze¹, CHEN Jinhui², WU Jianhui², XU Jiannan², ZHENG Yueping², ZHANG Yinjiang¹ & SHEN Heding¹
(1: College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, P. R. China)
(2: Superintendency Department of Shanghai Yangtze Estuarine Nature Reserve for Chinese Sturgeon, Shanghai 200092, P. R. China)
(3: School of Statistics and Mathematics, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, P. R. China)

Abstract: The results of a transparency (SD) contrast test between different Chinese sturgeon polyculture models with freshwater mussel *Anodonta woodiana* and silver carp *Hypophthalmichthys molitrix*, bighead carp *Aristichthys nobilis* indicated that the average transparencies were 11.92, 16.45, 17.45 cm which increased by 26.69%, 56.67%, 66.19% compared with background value before the test for pond 1 (control group), pond 2 (*A. woodiana*-polyculture group), pond 3 (*H. molitrix*, *A. nobilis*-polyculture group), respectively. The overall transparency level of pond 2 and 3 were significantly higher than that of pond 1, highest reached to twice. The panel data models of three ponds' transparency and other water quality parameters were: $SD_1 = -0.0072 \text{ TSS} + 0.8353 \text{ NH}_4^+ \text{-N} - 2.1711 \text{ TN} + 0.6195 \text{ TP} - 0.0405 \text{ COD} + 16.7815$, $SD_2 = 0.0030 \text{ TSS} + 3.8864 \text{ NH}_4^+ \text{-N} + 0.1893 \text{ TN} - 12.4585 \text{ TP}^{***} - 0.0104 \text{ COD} + 24.5306$, $SD_3 = 0.0381 \text{ TSS}^* + 3.7821 \text{ NH}_4^+ \text{-N} + 0.6003 \text{ TN} - 15.0444 \text{ TP}^{***} - 0.4078 \text{ COD}^{**} + 34.2992$. Total phosphorus (TP) was the main index, with ammonia nitrogen ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$), total nitrogen (TN), chemical oxygen demand (COD) as indirect ones, TSS as direct one, influencing the transparency of Chinese sturgeon culture pond.

* 上海市长江口中华鲟自然保护区项目、上海市教委重点学科项目(J50701)和上海市科委项目(08dz1900408)联合资助。2011-03-18 收稿; 2011-10-24 收修改稿。方磊, 男, 1986 年生, 硕士研究生; E-mail: lupin1107@hotmail.com.

** 通信作者; E-mail: hdshen@shou.edu.cn.

Polyculture with *H. molitrix* and *A. nobilis* excels the treatment hanging *A. woodiana* in transparency rise effects in the Chinese sturgeon culture pond with muddy water and high concentration of total suspended solids.

Keywords: *Acipenser sinensis*; *Anodonta woodiana*; *Hypophthalmichthys molitrix*; *Aristichthys nobilis*; transparency; influencing factor; Panel Data

我国对一级水生保护动物中华鲟(*Acipenser sinensis*)的早期研究多集中在人工繁殖、孵化和苗种培育方面. 1996年科研人员开始尝试利用化学标记、遗传标记和物理标记等多种手段进行人工放流效果评价^[1-4],之后的研究多集中于摄食^[5]、营养^[6]、幼鱼^[7]等方面,仅有胡小琴等^[8]关于水环境对中华鲟的影响进行研究.

透明度是反映水体光学透射性能的主要指标,也是定性评估水质优劣的指标^[9],同总悬浮物浓度、浮游生物数量等指标密切相关^[10]. 在天然河道^[11]、浅水湖泊^[10]或水库^[11]等系统中,透明度的变化是各种环境因素综合影响的结果. 辨识主要的环境影响要素对于准确评价水体营养状态变化具有关键意义. 不同的水体,每个因素的影响程度可能不同,如无机悬浮颗粒是低水位状态三峡小江回水区透明度的主要影响因子^[12],而藻类是中高水位状态三峡小江回水区^[12]、滇池^[13]等水体透明度的主要影响因素.

Panel Data模型是将时间序列(Time Series)和截面(Cross Series)数据相结合建立计量模型的一种数理统计方法,1950s开始被用于解决经济问题,已广泛用于环境经济^[14]、环境监测^[15]、影响因素分析^[16]等领域. 其允许数据的可变性、不均匀性和大量性,能将纯截面模型和纯时间序列模型中难以分离出来的效应进行分离和测量,减少不可观测的解释变量之间多重共线性的影响,改进了影响因素估计的有效性. 因此,该模型对现场实验的模拟具有较强的适应性和准确性.

中华鲟养殖土池中大个体鲟鱼的搅水作用强,一直存在水体混浊,透明度低,总悬浮物浓度大的问题. 本试验采用挂养、混养的方法,比较背角无齿蚌和鲢鳙对透明度的提高效果,运用Panel Data模型对不同混养模式下中华鲟养殖池透明度与其他水质指标的关系进行模拟,旨在提高中华鲟养殖池水体透明度,并为改善中华鲟池塘养殖观瞻效果提供针对性的处理方法和参考措施.

1 材料与方法

1.1 试验区域

试验选取上海市长江口中华鲟自然保护区的中华鲟养殖池1[#]、2[#]、3[#]池进行,养殖池参数:长38 m,宽28 m,面积为1000 m²左右,水深约1.5 m. 每个池放养中华鲟55~58条,共1200 kg.

1.2 试验材料及处理

试验选用的背角无齿蚌(*Anodonta woodiana*)是一种广泛分布于我国湖泊、池沼、河流的淡水贝类,能通过滤水来获取水中的食物(浮游生物和有机碎屑等),同时将悬浮的非食物颗粒滤除,从而使水质得到改善. 鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)是我国传统淡水养殖鱼类,滤食浮游动、植物能力较强^[17],有利于湖泊水库水环境保护,且适宜于池塘混养.

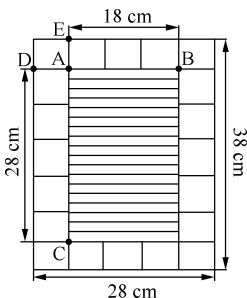


图1 中华鲟养殖池绳网设计示意图

Fig. 1 Net schematic diagram in Chinese sturgeon culture pond

设置1[#]池(仅养殖中华鲟,作为对照池)、2[#]池(挂养背角无齿蚌)、3[#]池(混养鲢鳙)进行对比试验. 每3 d换水1次,每次换1/3池水,每日投喂水产动物饲料(1500 g/池)2次,饲料系数5.14. 在2[#]池上方用绳索设置一组挂养背角无齿蚌起固定作用的绳网,具体设计见图1;在3[#]池放养70尾平均体重1 kg的鲢鳙(鲢23尾,鳙47尾,根据中营养水体鲢鱼比例30%~35%,且考虑到溶氧消耗,鲢鳙总质量控制在中国鲟的10%以内).

2[#]养殖池绳网大小为1.5 m×1.0 m,AC向有18栏,AB向有19串;每个网结处挂笼1个,挂笼深度设0.5和1 m两种,每笼放养背角无齿蚌3~6个,共1000个.

1.3 水样采集及分析

2010年6月25日至9月7日每隔2 d分别测定3个池塘透明度

(SD)、总悬浮物(TSS)、铵氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)、总氮(TN)、总磷(TP)、化学需氧量(COD)6项水质理化指标. 每池采集食台与食台对角线2处的中层水样,取2个样品的平均值进行分析. SD测定根据文献[18]; $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TP、COD浓度的测定使用Merck NOVA 60多参数水质分析仪及相关水质检测试剂盒,其中TN、TP、COD浓度经Merck TR 420消解仪消解后测定;TSS浓度根据重量法(GB11901-1989)使用孔径 $0.45\ \mu\text{m}$ 微孔滤膜,BINDER FD115电热干燥箱,津腾GM 1.0A隔膜真空泵,美国PALL公司47 mm带盖磁性过滤漏斗测得.

1.4 数据处理方法

运用EViews 6软件对各采样点检测结果进行统计分析.采用单位根检验方法检验各指标数据的平稳性,说明数据序列的可分析性;采用Panel Data模型分析不同指标对SD的影响程度.

本文采用的变量都用各指标表示,以SD为被解释变量,TSS、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TP、COD为解释变量,建立一般形式的Panel Data模型:

$$\text{SD}_{it} = \beta_{1i}\text{TSS} + \beta_{2i}\text{NH}_4^+\text{-N} + \beta_{3i}\text{TN} + \beta_{4i}\text{TP} + \beta_{5i}\text{COD} + \alpha_i, i = 1, 2, \dots, N, t = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

式(1)是考虑5个水质指标在 N 个中华鲟养殖池及 T 个时间上的变动关系.其中 N 表示个体截面成员的个数, T 表示每个截面成员的观测时期总数,参数 α_i 表示模型的常数项, β_{1i} 、 β_{2i} 、 β_{3i} 、 β_{4i} 、 β_{5i} 分别表示TSS、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TP、COD对SD增加的弹性系数.根据截距项向量和系数向量中各分量的不同约束要求,又可以将式(1)所描述的面板数据模型划分为以下3种类型:联合回归模型、变截距模型、变系数模型.模型具体构建方法见张瑞等^[19]的研究.

2 结果及分析

2.1 中华鲟养殖池透明度变化特点

试验期间,1[#]、2[#]、3[#]池的SD平均值分别为11.92、16.45、17.45 cm,范围分别为8.5~14.5、10~22、10~23 cm.由于背角无齿蚌与鲢鳙通过滤食对泥浆悬浮的改善,SD显著提高,1[#]、2[#]、3[#]池SD依次提高了26.69%、56.67%、66.19%(图2).经过背角无齿蚌和鲢鳙处理,2[#]、3[#]池SD整体水平显著高于1[#]池,最高时高出1倍.8月中旬气温有所回落(图3),水温下降,背角无齿蚌和鲢鳙鱼的活力变差,滤水强度不如之前高温时,因此透明度下降.

2.2 中华鲟养殖池透明度与主要环境指标的回归关系

使用Panel Data模型之前对数据的平稳性进行预分析,结果表明Levin, Lin & Chut * ; Breitung t-stat; Im, Pesaran and Shin, W-stat(IPS); ADF-Fisher Chi-square; PP-Fisher Chi-square等5种单位根检验方法均得出所有变量都在0.05的显著性水平下通过平稳性检验的结论(表1),因此这些变量均平稳、可信,可进一步进行面板数据分析.

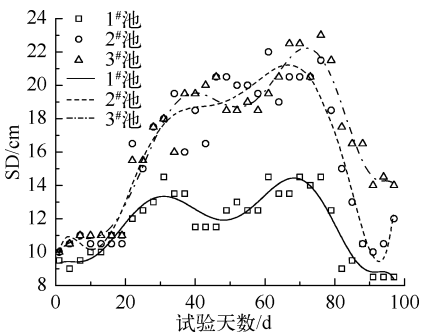


图2 不同混养模式水体中透明度的变化
Fig.2 The changes of secchi transparency in different polyculture models

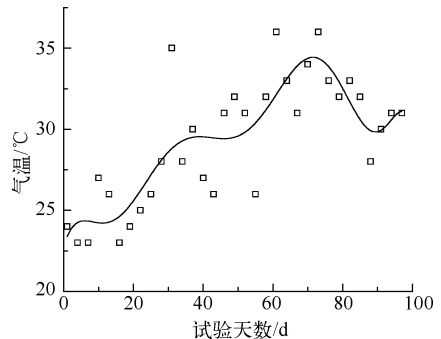


图3 试验期间试验区域气温变化状况
Fig.3 Temperature change in experimental area and period

表1 面板数据平稳性检验*
Tab.1 Stationarity test of Panel Data

检验方法	TSS(c, t)		NH ₄ ⁺ -N(c, t)		TN(c, t)		TP($c, 0$)		COD(c, t)		SD(c, t)	
	统计量	<i>P</i>	统计量	<i>P</i>	统计量	<i>P</i>	统计量	<i>P</i>	统计量	<i>P</i>	统计量	<i>P</i>
Levin, Lin & Chut *	-17.1880	0	-10.4544	0	-10.8801	0	-14.5325	0	-11.9183	0	-8.77980	0
Breitung t-stat	-10.4225	0	-7.91023	0	-8.41454	0	—	—	-5.27132	0	-7.80662	0
Im, Pesaran and Shin W-stat	-17.1357	0	-10.2263	0	-11.6514	0	-14.4020	0	-11.2076	0	-9.10212	0
ADF-Fisher Chi-square	375.576	0	80.8114	0	87.8648	0	102.053	0	80.8139	0	62.2078	0
PP-Fisher Chi-square	666.782	0	299.176	0	87.8648	0	105.942	0	504.603	0	62.5700	0

* 括号内为检验类型, c 代表截距项, t 代表时间趋势项, 0 表示不考虑时间趋势项; (c, t) 与 ($c, 0$) 仅为平稳条件不同, 都可推出数据同阶平稳。

本文所选择的数据包括上海市长江口中华鲟自然保护区中华鲟养殖池用水的主要水质指标, 符合固定效应模型的适用标准, 因此本文采用固定效应变系数模型, 各养殖池模型估计结果如下:

$$1^{\#}\text{池}; SD_1 = -0.0072 \text{ TSS} + 0.8353 \text{ NH}_4^+ \text{-N} - 2.1711 \text{ TN} + 0.6195 \text{ TP} - 0.0405 \text{ COD} + 16.7815$$

$$2^{\#}\text{池}; SD_2 = 0.0030 \text{ TSS} + 3.8864 \text{ NH}_4^+ \text{-N} + 0.1893 \text{ TN} - 12.4585 \text{ TP}^{***} - 0.0104 \text{ COD} + 24.5306$$

$$3^{\#}\text{池}; SD_3 = 0.0381 \text{ TSS}^* + 3.7821 \text{ NH}_4^+ \text{-N} + 0.6003 \text{ TN} - 15.0444 \text{ TP}^{***} - 0.4078 \text{ COD}^{**} + 34.2992$$

($AR^2 = 0.5053$; * 表示显著相关 (Sig. < 0.1), ** 表示较显著相关 (Sig. < 0.05), *** 表示极显著相关 (Sig. < 0.01); 各中华鲟养殖池 t 统计见表 2.)

表2 各中华鲟养殖池 t 统计量*

Tab.2 t -statistic of Chinese sturgeon culture ponds

t 统计量	TSS	NH ₄ ⁺ -N	TN	TP	COD
1 [#] 池	-0.4216	0.3154	-1.5616	0.1357	-0.2609
2 [#] 池	0.1757	0.7861	0.3230	-2.6734	-0.0802
3 [#] 池	1.7460	0.9118	0.7522	-4.7904	-2.5790

* t 统计量的符号与模型中各指标系数的符号相对应, 绝对值大小与系数的准确性呈正比。

上述模型表明, 1[#]池各指标对 SD 均无显著影响; 2[#]池 TP 浓度对 SD 影响极显著, TP 浓度每升高 1 mg/L, SD 减少 12.46 cm; 3[#]池中除 TP 外, TSS 浓度和 COD 浓度也对 SD 产生显著影响。由此可知, TP 是影响中华鲟养殖池 SD 的主要环境因素。系数中, TSS、NH₄⁺-N、TN、TP 和 COD 五项指标中至少两项指标都对 SD 有负影响效果, 即这些指标浓度升高, SD 会降低。2[#]池 TP 系数为 -12.4585, 绝对值小于 3[#]池 TP 系数 -15.0444, 表明 3[#]池 TP 浓度对 SD 影响更大。

各水质因子的时间动态变化表明, 2[#]池、3[#]池的 TSS 浓度远低于 1[#]池, 基本保持于 1[#]池的 1/2 水平; TP 浓度也明显小于 1[#]池; NH₄⁺-N、TN、COD 浓度与 1[#]池差异不大。背角无齿蚌、鲢鳙对池水 NH₄⁺-N、TN、COD 浓度的影响不大, 但对 TSS、TP 浓度的降低起到重要作用 (图 4)。

3 讨论

3.1 指标设计

试验前取中华鲟养殖池水镜检, 发现其中浮游植物极少, 故本试验不考虑叶绿素 a 浓度 (Chl. a) 对 SD 的影响。本试验中 3 个池塘的水位一致且稳定, 故不考虑水位对不同混养模式 SD 差异的影响。

3.2 模型结果讨论

由模型可得, TSS、TN、COD 对 SD 的增加弹性不高, 1[#]池为 -0.0072、-2.1711、-0.0405; 2[#]池为 0.0030、0.1893、-0.0104; 3[#]池为 0.0381、0.6003、-0.4078。中华鲟养殖池放养背角无齿蚌后, TP 对 SD 有极显著影响; 放养鲢鳙后, TSS、TP、COD 对 SD 有显著影响。其中, TP 对 SD 的影响呈极显著, COD 对 SD 有较显著影响。

根据 2[#]、3[#]池与 1[#]池的模型比较得出, 中华鲟与背角无齿蚌和鲢鳙混养以后 TSS、TN、TP 系数符号有变化, NH₄⁺-N 系数显著增大, 表明几个指标影响 SD 的方式有变化, TSS 浓度升高、TN 浓度升高、TP 浓度降低

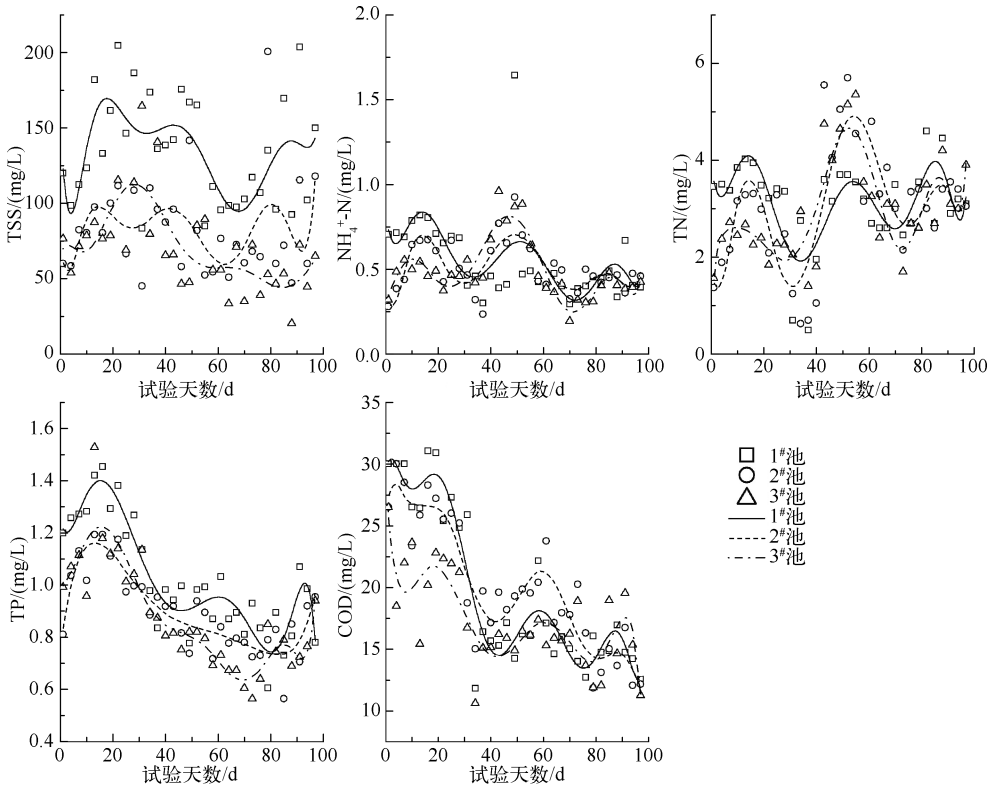


图4 各水质指标动态变化

Fig. 4 Change of water quality indexes

会增大SD。一般情况下,SD随TSS含量增加而减少^[20];而本试验测得的TSS浓度是背角无齿蚌和鲢鳙滤食降低TSS浓度后再悬浮的部分,TSS浓度与两者的清滤强度呈正比,因此SD随TSS增加而增加。NH₄⁺-N浓度反映中华鲟、背角无齿蚌、鲢鳙鱼代谢产物的量,TN浓度也随NH₄⁺-N浓度的变化而变化,背角无齿蚌和鲢鳙鱼代谢旺盛,清滤水量增加,NH₄⁺-N浓度升高,TN浓度升高,同时SD也随清滤水量增加而增加。2#、3#池的TP浓度显著小于1#池,主要归功于背角无齿蚌和鲢鳙清滤作用,因此TP成为中华鲟养殖池中进行混养处理后最敏感最活跃的指标,与丁涛等^[21]关于背角无齿蚌对TP消除效果明显的结论相符。SD随TP浓度小幅升高而大幅下降,经分析其原因可能是池中存在可被背角无齿蚌和鲢鳙滤除且能利用磷元素的微生物,如*Pseudomonas*、*Coccus*、*Aeromonas*、*Bacillus*、*Enterobacteriaceae*^[22]。

试验前TN的主要来源是饲料蛋白质中非NH₄⁺-N形式的N元素,饲料利用率低;试验期间TN的主要来源是生物代谢产物中的NH₄⁺-N,中华鲟养殖池生态系统消费者(背角无齿蚌、鲢鳙)数量多,饲料利用率高,分解成铵盐的效率高,NH₄⁺-N对SD增加的弹性增大,TN弹性增大,因此NH₄⁺-N、TN系数:2#、3#池>1#池。中华鲟养殖池中有机物的主要来源是水产动物饲料,由于3#池混养了鲢鳙,可移动饲料消费者个体数量:3#池>1#、2#池(除中华鲟,2#池的背角无齿蚌无法移动或直接利用饵料,而3#池鲢鳙也可直接摄食饲料),饲料利用率明显高于1#、2#池,因此,COD系数绝对值(对SD增加的弹性)3#池>>1#、2#池。

3#池各指标对SD增加的弹性总体大于2#池,常数项本底值也大于2#池,因此本试验中鲢鳙对透明度的提高优于背角无齿蚌。在悬浮物浓度较低的水体(湖泊、水库和生活用水源地)中,背角无齿蚌的水质净化作用已被广为肯定。本试验由于中华鲟室外养殖池中大个体鲟鱼的搅水作用强,水体透明度极小,总悬浮物浓度大,对背角无齿蚌的滤食影响较鲢鳙更为显著,因而在悬浮物浓度较高、水质较浑的中华鲟养殖池水体中,鲢鳙的放养对透明度的提高效果优于背角无齿蚌的挂养。

3.3 透明度的影响因素

中华鲟养殖池透明度影响因素分析结果表明,TP 是影响透明度的主要指标, NH_4^+ -N、TN、COD 是影响透明度的间接指标,而 TSS 是影响透明度的直接指标.这与张运林等^[20]、杨顶田等^[23]的结论一致,可以认为中华鲟养殖池的透明度影响因素与大型浅水湖泊(如太湖)较类似,而与深湖^[9]、江河^[12]有差异.模型结果得出 TP 和 SD 关系最密切;TSS 浓度反映悬浮物质的量,SD 受悬浮物质对透入池水中光的吸收和散射效应的差异而变化;而 NH_4^+ -N、TN 等不同形态的 N 化合物被悬浮颗粒物吸附并参与生物化学反应^[24],反映悬浮颗粒的浓度;COD 浓度则与 TN 浓度紧密相关,间接影响 NH_4^+ -N 浓度.

3.4 中华鲟养殖水质管理的启示

总磷是影响透明度的重要因素,因此在中华鲟养殖过程中,不能只考虑溶解氧、铵氮、亚硝酸盐等常规水质监测指标,还应充分考虑总磷浓度变动对透明度的影响.另外,背角无齿蚌、鲢鳙可作为中华鲟养殖池长期混养的种类,对提高透明度、降低氮磷浓度、控制残饵、维持池塘生态系统生物多样性都将产生积极影响.

4 参考文献

- [1] 常剑波,曹文宣.中华鲟物种保护的历史与前景.水生生物学报,1999,23(6):712-720.
- [2] 危起伟,杨德国,柯福恩.长江中华鲟超声波遥测技术.水产学报,1998,22(3):211-217.
- [3] 危起伟,陈细华,杨德国等.葛洲坝截流 24 年来中华鲟产卵群体结构的变化.淡水渔业,2005,12(4):452-457.
- [4] Boyd K, Wei QW, Ke EF. Use of ultrasonic telemetry to locate the spawning area of Chinese sturgeons. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 8: 668-671.
- [5] 顾孝连,庄平,章龙珍等.长江口中华鲟幼鱼趋光行为及其对摄食的影响.水产学报,2009,33(5):778-783.
- [6] 庄平,宋超,章龙珍等.中华鲟幼鱼饵料生物及人工饲料的蛋白质和脂肪酸营养价值评价.水产学报,2009,33(3):476-502.
- [7] 蒋玫,王云龙,沈新强等.长江口中华鲟保护区鱼卵和仔鱼的分布特征.生态学杂志,2009,28(2):288-292.
- [8] 胡小琴,姜翠玲,裴海峰等.水环境变化对中华鲟的影响.水电能源科学,2009,27(3):35-37.
- [9] 潘继征,熊飞,李文朝等.云南抚仙湖透明度的时空变化及影响因子分析.湖泊科学,2008,28(5):681-686.
- [10] 秦伯强,胡维平,陈伟民等.太湖水环境演化过程与机理.北京:科学出版社,2004:53-106.
- [11] Wetzel RG. *Limnology: Lakes and river ecosystems*. New York: Academic Press, 2001: 49-70.
- [12] 张呈,郭劲松,李哲等.三峡小江回水区透明度季节变化及其影响因子分析.湖泊科学,2010,22(2):189-194.
- [13] 赵碧云,贺彬,朱云燕等.滇池水体中透明度的遥感定量模型研究.环境科学与技术,2003,26(2):16-17.
- [14] Gene MG, Alan BK. Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2): 353-377.
- [15] Marin E, Perez-Amaral T, Rua A *et al.* The evolution of the pH in Europe(1986—1997) using panel data. *Chemosphere*, 2001, 45:329-337.
- [16] 高志刚,赵霄伟.基于 Panel Data 模型的新疆区域产业结构调整对环境污染的影响分析.生态经济,2011,(1): 82-95.
- [17] 段金荣,张宪中,刘凯等.鲢鳙鱼和藻类治理关系的初步研究.中国农学通报,2009,25(20):327-328.
- [18] 《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法:第4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [19] 张瑞,丁日佳,尹岚岚.产业结构变动对我国能源消费影响的 Panel data 模型.商场现代化,2007,490:365-367.
- [20] 张运林,秦伯强,陈伟民等.太湖水体透明度的分析、变化及相关分析.海洋湖沼通报,2003,(2):30-36.
- [21] 丁涛,李林,彭亮等.背角无齿蚌摄食率及对水中叶绿素 a 清除能力的研究.水生生物学报,2010,34(4): 779-786.
- [22] Wang L, Huang LJ, Yun LJ *et al.* Removal of nitrogen, phosphorus, and organic pollutants from water using seeding type immobilized microorganisms. *Biomedical and Environmental Sciences*, 2008, 21: 150-156.
- [23] 杨顶田,陈伟民,曹文熙.太湖梅梁湾水体透明度的影响因素分析.上海环境科学,2003,22(增刊):34-38.
- [24] 方磊,刘健,陈锦辉等.中华鲟养殖池背角无齿蚌和鲢鳙鱼生态修复效果比较.生态科学,2011,30(3): 288-294.