

张明明, 朱 健, 李 冰, 等. 池塘循环水养殖系统净化效果评价及分析[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(12): 113–116.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.12.030

# 池塘循环水养殖系统净化效果评价及分析

张明明<sup>1</sup>, 朱 健<sup>2</sup>, 李 冰<sup>2</sup>, 王 林<sup>1</sup>, 王 璐<sup>1</sup>, 蒋高中<sup>1,2</sup>

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏无锡 214081;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心/农业部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 江苏无锡 214081)

**摘要:** 为了掌握养殖区水质在不同月份的变化规律, 为以后的健康养殖模式提供科学且合理的理论依据, 对养殖区池塘、人工湿地、沟渠、对照塘 4 个相关水体进行为期 4 个月的水质监测, 测定水温 ( $T$ )、溶解氧 ( $DO$ )、水体透明度 ( $SD$ )、pH 值、氨态氮 ( $NH_3-N$ )、总磷 ( $TP$ )、高锰酸盐指数 ( $COD_{Mn}$ )、总氮 ( $TN$ )、亚硝态氮 ( $NO_2^- - N$ )、叶绿素  $a$  ( $Chla$ ) 等指标。结果表明, 池塘的  $T$ 、 $TP$ 、 $TN$ 、 $SD$ 、 $COD_{Mn}$  在 7 月与 10 月之间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 人工湿地的 pH 值、 $TN$ 、 $Chla$  在 4 个月中无显著性差异,  $T$ 、 $TP$ 、 $NH_3-N$ 、 $NO_2^- - N$ 、 $COD_{Mn}$  在 7 月与 10 月之间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 沟渠的  $SD$  在 4 个月中无显著性差异,  $T$ 、 $NH_3-N$ 、 $COD_{Mn}$ 、 $TN$ 、 $TP$ 、 $NO_2^- - N$ 、 $Chla$  在 7 月与 10 月之间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 对照塘的  $TN$  在 4 个月中无显著性差异,  $T$ 、 $DO$ 、 $SD$ 、 $TP$ 、 $NO_2^- - N$ 、 $Chla$  在 7 月与 10 月之间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。其中养殖水体的营养状态大部分都处于重度富营养化, 所以该养殖区域的养殖水富营养化程度比较严重, 今后可以通过种植少量水生植物来对水质进行一定程度的净化。

**关键词:** 养殖区; 水质; 富营养化; 循环水养殖系统

**中图分类号:** S964.9

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-1302(2017)12-0113-04

近 10 年来, 随着我国池塘养殖技术的进步, 我国对该领域的发展和老百姓衣食住行等方面的提高作出了杰出的贡献, 然而, 在养殖产量和经济水平提高的同时, 养殖废水和生活污水也不断增多, 养殖规模的大幅度提高、集约化养殖程度的加深、鱼塘放养密度的大幅增加使我国池塘养殖产业面临着一系列关于池塘水污染与养殖之间的矛盾<sup>[1]</sup>。所以, 研究并构建池塘循环水养殖系统对水产养殖业的持续发展有极其重大的意义。循环水养殖系统就是在水产养殖过程中引入水处理工艺, 用此工艺来改善和控制养殖废水, 经过多年的发展及改良之后, 已经有不少国内外学者开始对循环水系统进行研究。本试验通过对饲养区的池塘、沟渠、人工湿地以及对照池塘的用水进行为期 4 个月的水质监测, 分析其在水质变化以及去除率的变化并对其进行评价, 为今后的养殖提供一定的依据。

## 1 材料与方法

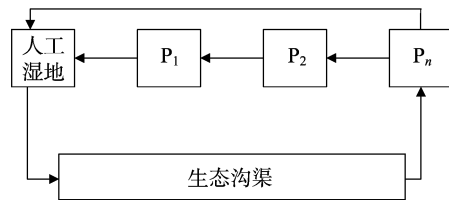
### 1.1 试验材料

梅特勒-托利多便携式 pH 计、721 紫外分光光度计、TGL-16M 高速台式冷冻离心机、YSI-550A 型便携式溶氧仪、手持式匀浆器、SHD-Ⅲ型循环水式多用真空泵、玻璃砂芯过滤装置、立式电热压力蒸汽灭菌器、1 000 W 电炉、分析

天平、酸式滴定管、滴定台等。

### 1.2 样品采集

在江苏省无锡市阳山镇住基村第一垂钓中心科研试验基地, 分别在池塘 (进水口)、沟渠 (出水口)、人工湿地和对照池塘 4 个地点设置了采样点, 池塘循环流水养殖系统如图 1 所示, 每个采样点取 3 个平行水样, 用冰袋保存, 及时送回实验室进行检测分析。采样时间为 2015 年 7—10 月每个月的下旬, 一般为 09:00—11:00。



$P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_n$  分别代表循环流水养殖系统模型中的 1 号、2 号、 $n$  号池塘

图1 池塘循环流水养殖系统

### 1.3 样品检测

水体透明度 ( $SD$ ) 利用赛氏盘进行现场测定; 水体温度 ( $T$ ) 以及 pH 值利用梅特勒-托利多便携式多功能 pH 计进行现场测定; 溶解氧 ( $DO$ ) 采用 YSI-550A 型便携式溶氧仪进行现场测定; 总氮 ( $TN$ )、亚硝态氮 ( $NO_2^- - N$ )、总磷 ( $TP$ )、高锰酸盐指数 ( $COD_{Mn}$ )、氨氮 ( $NH_3-N$ )、叶绿素  $a$  ( $Chla$ ) 等各项指标均参照《水和废水检测分析方法》<sup>[2]</sup> 进行测定。

### 1.4 数据分析

1.4.1 单因素方差分析及多重比较 借助 SPSS 20.0 软件的单因素方差分析和最小显著性差异法<sup>[3]</sup> 比较不同月份各水质指标的差异。

1.4.2 富营养化评价 利用综合营养状态指数法, 用  $Chla$

收稿日期: 2016-02-29

基金项目: 国家科技支撑计划 (编号: 2012BAD25B07)。

作者简介: 张明明 (1990—), 男, 甘肃兰州人, 硕士研究生, 研究方向为水产动物健康养殖。E-mail: 815023339@qq.com。

通信作者: 蒋高中, 博士, 研究员, 主要从事渔业文化与科技发展、渔业科技史等研究。Tel: (0510) 85550702; E-mail: jianggz@ffrc.cn。

作为基准的参数,以 TP、TN、SD、COD<sub>Mn</sub>这 4 个参数对营养状态指数进行综合评价<sup>[4]</sup>。营养状态分级如表 1 所示。相关公式如下:

$$TLI(\Sigma) = \sum_{j=1}^m W_j TLI_j;$$

$$W_j = \frac{r_{ij}^2}{\sum_{i=1}^m r_{ij}^2}。$$

式中:TLI(Σ)为综合营养状态指数;TLI<sub>j</sub>为第 j 种参数的营养状态指数;W<sub>j</sub>为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重;r<sub>ij</sub><sup>2</sup>为第 j 种参数与基准参数 Chla 的决定系数;m 为评价参数的个数。

营养状态指数计算公式:

$$TLI(\text{Chla}) = 10(2.500 + 1.086\ln \text{Chla}); \quad (1)$$

$$TLI(\text{TP}) = 10(9.436 + 1.624\ln \text{TP}); \quad (2)$$

$$TLI(\text{TN}) = 10(5.453 + 1.694\ln \text{TN}); \quad (3)$$

$$TLI(\text{SD}) = 10(5.118 - 1.940\ln \text{SD}); \quad (4)$$

$$TLI(\text{COD}_{\text{Mn}}) = 10(0.109 + 2.661\ln \text{COD}_{\text{Mn}})。 \quad (5)$$

表 2 进水口水质指标在不同月份的差异性分析结果

月份	T(℃)	pH 值	DO(mg/L)	SD(m)	TP(mg/L)
7	29.43 ± 0.88c	8.12 ± 0.06a	7.00 ± 0.63ab	0.27 ± 0.03b	0.489 ± 0.012c
8	29.23 ± 0.63c	8.16 ± 0.04a	4.63 ± 0.52a	0.29 ± 0.01b	0.357 ± 0.026bc
9	25.83 ± 0.88b	9.02 ± 0.07b	8.77 ± 0.29b	0.21 ± 0.01a	0.324 ± 0.028ab
10	21.80 ± 0.06a	8.17 ± 0.02a	6.81 ± 1.25ab	0.18 ± 0.01a	0.290 ± 0.012a

月份	TN(mg/L)	NH <sub>3</sub> - N(mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N(mg/L)	COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	Chla(mg/m <sup>3</sup> )
7	5.960 ± 0.217c	0.651 ± 0.037b	0.066 ± 0.006b	8.220 ± 0.122b	78.089 ± 6.263b
8	5.221 ± 0.122bc	0.559 ± 0.029ab	0.049 ± 0.001a	8.219 ± 0.074b	76.396 ± 3.665b
9	4.597 ± 0.389b	0.686 ± 0.090b	0.063 ± 0.047b	7.860 ± 0.028b	73.265 ± 3.887b
10	2.803 ± 0.398a	0.467 ± 0.029a	0.046 ± 0.023a	6.390 ± 0.325a	60.897 ± 2.282a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。表 3、表 4、表 5 同。

2.1.2 人工湿地 由表 3 可知,人工湿地的 pH 值、TN、Chla 在 4 个月中无显著性差异;T、DO、SD、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N 在 9 月与 10 月之间存在显著性差异(P < 0.05);T、TP、NH<sub>3</sub> - N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N、

表 1 营养状态分级

TLI(Σ)值	营养状态
TLI(Σ) < 30	贫营养
30 ≤ TLI(Σ) ≤ 50	中营养
TLI(Σ) > 50	富营养
50 < TLI(Σ) ≤ 60	轻度富营养
60 < TLI(Σ) ≤ 70	中度富营养
TLI(Σ) > 70	重度富营养

2 结果与分析

2.1 养殖区水质指标的差异性分析

2.1.1 进水口 由表 2 可知,进水口的 T、pH 值、TN、NH<sub>3</sub> - N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N、COD<sub>Mn</sub>、Chla 在 9 月与 10 月之间存在显著性差异(P < 0.05);T、TP、TN、SD、COD<sub>Mn</sub>在 7 月与 10 月之间存在显著性差异(P < 0.05),其中,COD<sub>Mn</sub>、TP、TN、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N、Chla 在 7 月出现最大值,说明进水口在 10 月的水质明显优于 7 月。

COD<sub>Mn</sub>在 7 月与 10 月之间存在显著性差异(P < 0.05),其中,T、TP、NH<sub>3</sub> - N、COD<sub>Mn</sub>、Chla 在 7 月均出现最大值。10 月人工湿地的 DO、TN、COD<sub>Mn</sub>、Chla 与进水口的值存在明显差异。

表 3 人工湿地水质指标在不同月份的差异性分析结果

月份	T(℃)	pH 值	DO(mg/L)	SD(m)	TP(mg/L)
7	30.37 ± 0.15c	8.38 ± 0.05a	7.31 ± 0.11a	0.17 ± 0.01ab	0.393 ± 0.033b
8	30.10 ± 0.06c	8.46 ± 0.05a	7.92 ± 0.67ab	0.20 ± 0.01b	0.382 ± 0.016b
9	26.33 ± 0.15b	8.24 ± 0.15a	9.20 ± 0.08b	0.25 ± 0.02c	0.362 ± 0.026ab
10	21.23 ± 0.03a	8.43 ± 0.01a	7.75 ± 0.44a	0.15 ± 0.01a	0.292 ± 0.006a

月份	TN(mg/L)	NH <sub>3</sub> - N(mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N(mg/L)	COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	Chla(mg/m <sup>3</sup> )
7	5.047 ± 0.035a	0.692 ± 0.033b	0.073 ± 0.002b	8.955 ± 0.072b	63.029 ± 3.113a
8	5.329 ± 0.251a	0.638 ± 0.012ab	0.073 ± 0.006b	8.924 ± 0.156b	59.814 ± 6.013a
9	5.057 ± 0.050a	0.679 ± 0.034ab	0.068 ± 0.001b	7.792 ± 0.270a	60.003 ± 2.167a
10	5.037 ± 0.150a	0.588 ± 0.240a	0.051 ± 0.007a	8.085 ± 0.221a	57.363 ± 5.482a

2.1.3 出水口 由表 4 可知,出水口的 SD 在 4 个月之间无显著性差异;T、pH 值、DO、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N 在 9 月与 10 月之间存在显著性差异(P < 0.05),pH 值在 9 月出现最大值;T、TP、TN、NH<sub>3</sub> - N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N、COD<sub>Mn</sub>、Chla 在 7 月与 10 月之间存在显著性差异(P < 0.05),且 TP、TN、NH<sub>3</sub> - N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N、Chla 在 7 月出现最大值。进水口的 NH<sub>3</sub> - N、DO、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N、COD<sub>Mn</sub>、Chla 与出水口的值存在明显差异。

2.1.4 对照塘 由表 5 可知,对照塘的 TN 在 4 个月之间无显著性差异;T、DO、SD、TP、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N、Chla 在 7 月与 10 月之间存在显著性差异(P < 0.05);T、pH 值、SD、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N、COD<sub>Mn</sub>在 9 月与 10 月之间存在显著性差异(P < 0.05),且 pH 值、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N 在 9 月达最大值。10 月对照塘的 DO、SD、TP、TN 的值与人工湿地的值存在明显差异。

2.1.5 水质优劣程度 根据表 2、表 3、表 4、表 5 综合分析可

表 4 出水口水质指标在不同月份的差异性分析结果

月份	<i>T</i> (℃)	pH 值	DO (mg/L)	SD (m)	TP (mg/L)
7	29.47 ± 0.07c	8.39 ± 0.01a	7.42 ± 0.11a	0.22 ± 0.02a	0.396 ± 0.025b
8	29.73 ± 0.03c	8.66 ± 0.03b	8.12 ± 0.34a	0.22 ± 0.01a	0.343 ± 0.041a
9	25.33 ± 0.15b	8.99 ± 0.04c	9.26 ± 0.21b	0.22 ± 0.01a	0.317 ± 0.018a
10	21.30 ± 0.15a	8.37 ± 0.02a	7.91 ± 0.55a	0.19 ± 0.01a	0.285 ± 0.009a
月份	TN (mg/L)	NH <sub>3</sub> - N (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	Chla (mg/m <sup>3</sup> )
7	5.039 ± 0.037b	0.525 ± 0.035b	0.051 ± 0.001c	7.336 ± 0.052b	49.998 ± 3.125c
8	4.860 ± 0.072b	0.504 ± 0.005b	0.045 ± 0.001c	7.484 ± 0.295b	35.378 ± 6.398b
9	2.907 ± 0.277a	0.365 ± 0.026a	0.041 ± 0.001b	6.012 ± 0.068a	39.989 ± 6.234a
10	2.120 ± 0.0643a	0.317 ± 0.008a	0.037 ± 0.002a	5.913 ± 0.266a	42.000 ± 3.335a

表 5 对照塘水质指标在不同月份的差异性分析结果

月份	<i>T</i> (℃)	pH 值	DO (mg/L)	SD (m)	TP (mg/L)
7	30.10 ± 0.06c	8.20 ± 0.13a	7.14 ± 0.06a	0.17 ± 0.01a	0.422 ± 0.025a
8	30.23 ± 0.13c	9.09 ± 0.06b	8.32 ± 0.26b	0.25 ± 0.17b	0.509 ± 0.045ab
9	26.07 ± 0.03b	9.48 ± 0.03c	9.17 ± 0.31b	0.14 ± 0.19a	0.608 ± 0.066b
10	21.93 ± 0.03a	8.34 ± 0.01a	8.73 ± 0.33b	0.23 ± 0.20b	0.602 ± 0.014b
月份	TN (mg/L)	NH <sub>3</sub> - N (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	Chla (mg/m <sup>3</sup> )
7	5.282 ± 0.178a	0.310 ± 0.233a	0.071 ± 0.001b	8.328 ± 0.451b	65.325 ± 5.702b
8	6.137 ± 0.069a	0.645 ± 0.014ab	0.072 ± 0.002b	8.350 ± 0.352b	69.331 ± 6.282b
9	6.186 ± 0.434a	0.720 ± 0.019b	0.080 ± 0.001b	7.341 ± 0.081a	62.315 ± 9.414a
10	6.339 ± 0.535a	0.669 ± 0.027ab	0.055 ± 0.007a	8.098 ± 0.210b	57.128 ± 3.121a

知,水质优劣程度为出水口 > 进水口 > 人工湿地 > 对照塘。

2.1.6 各项指标随着时间的推移而下降的可能的原因 7 月正处于鱼类快速生长的高峰期,饲料的高投喂、鱼类粪便的高产生、渔药和 EM 菌(EM 菌是以光合细菌、乳酸菌、酵母菌和放线菌为主的 10 个属 80 余个微生物复合而成的一种微生物菌制剂)的大量使用等都能导致水体中的 TP、TN 等含量较高;另外,7 月温度较高,微生物活动较为剧烈,使有机物质的分解速率较快,从而也使得水体中各项指标含量较高。10 月鱼体生长速率已经较为缓慢,水温下降等原因导致鱼类粪便量较少,微生物分解有机物的速率下降,从而导致 10 月水质指标比 7 月有明显的降低。叶绿素的含量下降可能的原因是

叶绿素主要测定能够进行光合作用的一些藻类的含量,而部分藻类的生长需要从中吸收营养物质,随着时间的推移,温度下降,藻类自身新陈代谢能力降低,水中营养物质减少,从而导致部分藻类死亡,这就导致叶绿素含量有所降低。

2.2 进水口、出水口污染物去除率分析

2.2.1 池塘循环系统对 TP 的去除 由表 6 可知,TP 的去除率在 7 月最高,为 19.02%,10 月去除率最低,为 1.72%。平均去除率为 6.71%,7—10 月去除率呈下降趋势。循环系统对磷的净化主要通过浮游植物的作用,去除率呈下降趋势可能与温度有关,温度下降,浮游植物繁殖受到限制,去除率降低。

表 6 人工湿地进水口、出水口水质指标变化

月份	TP			TN			NH <sub>3</sub> - N		
	进水口 (mg/L)	出水口 (mg/L)	去除率 (%)	进水口 (mg/L)	出水口 (mg/L)	去除率 (%)	进水口 (mg/L)	出水口 (mg/L)	去除率 (%)
7	0.489 ± 0.012	0.396 ± 0.025	19.02	5.960 ± 0.217	5.039 ± 0.037	15.45	0.651 ± 0.037	0.525 ± 0.035	19.35
8	0.357 ± 0.026	0.343 ± 0.041	3.92	5.221 ± 0.122	4.860 ± 0.072	6.91	0.559 ± 0.029	0.504 ± 0.005	9.84
9	0.324 ± 0.028	0.317 ± 0.018	2.16	4.597 ± 0.389	2.907 ± 0.277	36.76	0.686 ± 0.090	0.365 ± 0.026	46.79
10	0.290 ± 0.012	0.285 ± 0.009	1.72	2.803 ± 0.398	2.120 ± 0.643	24.37	0.467 ± 0.029	0.317 ± 0.008	32.12
月份	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N			COD <sub>Mn</sub>			Chla		
	进水口 (mg/L)	出水口 (mg/L)	去除率 (%)	进水口 (mg/L)	出水口 (mg/L)	去除率 (%)	进水口 (mg/L)	出水口 (mg/L)	去除率 (%)
7	0.066 ± 0.006	0.051 ± 0.001	22.73	8.220 ± 0.122	7.336 ± 0.052	10.75	78.089 ± 6.263	49.998 ± 3.125	35.97
8	0.049 ± 0.001	0.045 ± 0.001	8.16	8.237 ± 0.074	7.484 ± 0.295	9.14	76.396 ± 3.665	35.378 ± 6.398	53.69
9	0.063 ± 0.047	0.041 ± 0.001	34.92	7.860 ± 0.028	6.012 ± 0.068	23.51	73.265 ± 3.887	39.989 ± 6.23	45.42
10	0.046 ± 0.023	0.037 ± 0.002	19.57	6.390 ± 0.325	5.913 ± 0.266	7.46	60.897 ± 2.282	42.000 ± 3.335	31.03

2.2.2 池塘循环系统对 TN 的去除 TN 在 8 月时去除率最低,为 6.91%,在 9 月时去除率最高,为 36.76%,平均去除率为 20.87%,7—10 月去除率总体呈上升趋势。原因可能与温度与关,以及池塘循环流水养殖系统通过浮游植物的吸收利用、微生物的作用过程有关。

2.2.3 池塘循环系统对 NH<sub>3</sub> - N 的去除 NH<sub>3</sub> - N 在 8 月时

去除率最低,为 9.84%,在 9 月时最高,为 46.79%,平均去除率为 27.03%,7—10 月去除率总体呈上升趋势。氨氮过量会污染水质,除此之外,还会消耗水体中的溶解氧,影响鱼类健康。循环水养殖系统主要通过浮游植物和微生物的硝化及反硝化作用对氨氮进行去除。温度也是影响 NH<sub>3</sub> - N 去除率的因素之一,一般温度高,NH<sub>3</sub> - N 的去除率就高。

2.2.4 池塘循环系统对  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  的去除  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  在 8 月时去除率最低,为 8.16%,在 9 月去除率最高,为 34.92%,平均去除率为 21.35%,7—10 月去除率总体呈波动趋势。循环系统主要是通过微生物的硝化及反硝化作用进行,此外,去除率也受温度的影响,温度下降不利于微生物的生长繁殖。

2.2.5 池塘循环系统对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的去除  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  在 10 月时去除率最低,为 7.46%,9 月最高,为 23.51%,平均去除率为 12.72%,7—10 月去除率总体呈下降趋势。循环系统对高锰酸盐指数的去除率主要通过微生物作用完成,但是去除率受温度影响较小。

2.2.6 池塘循环系统对 Chla 的去除 Chla 在 10 月时去除率最低,为 31.03%,8 月最高,为 53.69%,平均去除率为 41.53%,7—10 月去除率总体呈稳定趋势。温度升高有利于浮游植物的繁殖,温度降低则不利于其繁殖。

### 2.3 富营养化分析

由表 7 可知,进水口 10 月的水体营养状态为中度富营养化,其他月份为重度富营养化,7 月的富营养化程度最高、10 月的富营养化程度最低;人工湿地 9 月的水体营养状态为中度富营养化,其他月份为重度富营养化,7 月的富营养化程度最高,9 月的富营养化程度最低;出水口 7 月和 8 月的水体营养状态为重度富营养化,9 月和 10 月为中度富营养化,7 月的富营养化程度最高、10 月的富营养化程度最低;对照塘 4 个月的水体营养状态均为重度富营养化,其中以 9 月的富营养化程度最高、8 月的富营养化程度最低。

表 7 不同采样点水体综合营养状态指数

地点	水体综合营养状态指数			
	7 月	8 月	9 月	10 月
进水口	74.485	72.929	73.094	69.025
人工湿地	75.225	74.554	69.621	73.991
出水口	73.365	71.445	68.460	67.778
对照塘	75.303	75.066	77.526	75.461

## 3 讨论与结论

### 3.1 净化单元效果

本研究结果表明,池塘循环水养殖系统对 TP、TN、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、Chla 的平均去除率分别为 6.71%、20.87%、21.35%、12.72%、27.03%、41.53%。循环水系统利用浮游植物的吸收作用和微生物的作用来净化水中的氮、磷、氨氮,同时利用微生物的作用净化亚硝酸盐、高锰酸盐以及叶绿素 a。循环系统对本试验养殖水体中 TP、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、Chla 的去除不是很明显,与其他成熟的循环水养殖系统相比还存在较多的问题。同时进水口、人工湿地、出水口、对照塘的富营养化程度多为重度富营养化,可能与养殖区周边的生活区、农业区以及工业区污染排放有关。

### 3.2 池塘循环水养殖系统净化效能分析

在养殖期间,对养殖池塘、人工湿地、进水口、出水口的 T、pH 值、DO、SD 进行测定,发现在没有其他措施的调控下,各项数据都相对比较稳定。进水口、出水口的 TP、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的平均去除率分别为 6.71%、12.72%,去除效果不稳定,去除率不高,所以今后还需对循环系统进行改善。 $\text{NH}_3 - \text{N}$  的平均去除率为 27.03%,过量的  $\text{NH}_3 - \text{N}$  不仅会消耗水体中的

溶解氧,而且还导致水质被污染。养殖池塘中非离子态的氨氮会使鱼体遭受很强的毒性,虽然本试验养殖池塘中氮的含量稍微偏高,但是 pH 值不高,因此,水中 92.5% 以上的  $\text{NH}_3 - \text{N}$  以离子氨的形式存在<sup>[5]</sup>,所以鱼体的正常生长不会受到影响。 $\text{NO}_2^- - \text{N}$  的去除主要是微生物的硝化与反硝化作用,而  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、Chla 的去除效果也可能受温度影响,温度越高,越有利于浮游植物的繁殖,反之,不利于浮游植物的繁殖, $\text{COD}_{\text{Mn}}$  受温度影响较小,主要是受微生物作用的影响。

### 3.3 水产养殖废水对环境及水域的影响

随着现代水产养殖行业的不断扩大及发展,养殖废水问题成为首先须要解决的问题。在养殖过程中所投放的饲料中约有 9.1%、17.4% 的氮、磷被鱼同化,而剩余的饲料和鱼类的排泄废物对水体产生了严重的污染<sup>[6]</sup>。水产养殖对渔业水域环境方面的影响不仅有正面的,而且也有负面的,例如在天然湖泊、水库中养殖容量合理、品种适用的物种可以控制水体富营养化,但是如果这些废物得不到适当的处理,就会产生诸如淡水池塘老化、淤泥沉积等问题<sup>[7]</sup>。

### 3.4 目前流行的水产养殖水处理技术

当前,对于养殖废水的处理技术已经日趋成熟,主要有物理法(沉淀、过滤、气浮)、化学法(氧化处理、混凝、离子交换)和生物法(好气性处理、特定生物处理)<sup>[8]</sup>。由于物理及化学方法所需的成本较高,所以在实际行动中有一定的困难,但是生物法在使用上消耗的成本相对较低,适应范围较广,便于推广,目前已经得到了非常广泛的应用<sup>[9]</sup>。

## 4 结论

本研究结果表明,草鱼养殖区的水体富营养化程度较为严重,进水口、出水口的去除率偏低,去除效果不明显,今后可以通过种植少量水生植物<sup>[10]</sup>来对水质进行一定程度的净化。

### 参考文献:

- [1] 朱自干,李 谷,吴恢碧,等. 复合池塘养殖系统湿地水质净化功能研究[J]. 淡水渔业,2009,39(5):62-66.
- [2] 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.
- [3] 徐文君,李红智,冀德刚,等. 方差分析及多重比较在增肥试验中的应用[J]. 畜牧与饲料科学,2010,31(4):1-2.
- [4] 王鹤扬. 综合营养状态指数法在陶然亭湖富营养化评价中的应用[J]. 环境科学与管理,2012,37(9):188-194.
- [5] 邹铃媛,承完成. 非离子氨(UIA)水质评价指标及换算方法[J]. 水产科学,2002,21(2):42-43.
- [6] 方圣琼,胡雪峰,巫和听. 水产养殖废水处理技术及应用[J]. 环境工程学报,2004,5(9):51-55.
- [7] 杨明伟. 水产养殖对渔业水域环境的影响及对策探讨[J]. 农业与技术,2012,32(10):182-183.
- [8] 刘利平,王 武. 水产养殖中水处理技术的现状与展望[J]. 水产科学,2002,21(2):35-37.
- [9] 章星昇,朱 环,李怀正,等. 水产养殖水生物处理技术研究现状与展望[J]. 水处理技术,2010,36(1):25-29.
- [10] 高云霓,吴晓辉,邓 平,等. 人工湿地-池塘复合养殖系统中浮游藻类生态特征[J]. 农业环境科学学报,2007,26(4):1230-1234.