

郑尧,陈家长,袁丽萍,等.吉富罗非鱼养殖池塘水质调控集成技术研究[J].江苏农业科学,2020,48(7):193-197.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.07.036

吉富罗非鱼养殖池塘水质调控集成技术研究

郑尧,陈家长,袁丽萍,周瑶,李丹丹,孙旋辉,邰旭文

(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心/农业农村部水产品质量安全环境因子风险评估实验室(无锡),江苏无锡 214081)

摘要:以吉富罗非鱼养殖池塘为对象,集成上、中、下层水质调控技术,研究其对池塘水质氮、磷净化效果。通过设置对照组(Y1)、5% 薤菜 + 5% 填料 + 泼藻组(Y2)、5% 薤菜 + 5% 填料 + 不泼藻组(Y3)、10% 薤菜 + 5% 填料 + 泼藻组(Y4)、10% 薤菜 + 5% 填料 + 不泼藻组(Y5)、5% 薤菜 + 10% 填料 + 泼藻组(Y6)、5% 薤菜 + 10% 填料 + 不泼藻组(Y7),测定高锰酸盐指数(COD_{Mn})、叶绿素 a、总氮(TN)、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、总磷(TP)、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 等水质指标,并进行环境、效益评估。水质处理效果最优为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 处理效果也较好,后期(8—9月)TP 明显升高,Y4、Y5 水质净化效果好。Y1、Y5 经济效益较好。集成上、中、下层水质调控技术可显著增强水质氮、磷去除效果,Y5 适合推广。

关键词:吉富罗非鱼;养殖;底泥;池塘水质调控;原位修复;集成

中图分类号: X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)07-0193-05

从水体上层观察,薤菜-水芹轮作模式前期(薤菜种植阶段)能显著降低青鱼和经济鱼养殖水体中 TOC、叶绿素 a、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$

含量,轮作后期(水芹种植阶段)能显著降低水体中 TOC、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、TP 含量,轮作前、后期均能降低不同养殖品种底质中 TOC、TN、TP 含量^[1]。在轮作模式中的植物品种选择上考虑中草药,如鱼腥草(*Houttuynia cordata* Thunb)、虎杖(*Polygonum cuspidatum*)、薄荷(*Mentha haplocalyx* Briq.)等^[2],还能起到增强吉富罗非鱼免疫能力的功效^[3]。从水体中层观察,添加藻类能改善养殖水中浮游动物、植物群落结构^[4-5]。从水体中下层观察,组合填料在一定程度上可有效改善水质,促进罗非鱼生

收稿日期:2019-02-25

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2015BAD13B03);现代农业产业技术体系专项(编号:CARS-46)。

作者简介:郑尧(1986—),男,安徽太湖人,博士,副研究员,主要从事渔业生态环境保护研究。E-mail:zhengy@ffrc.cn。

通信作者:邰旭文,硕士,研究员,研究方向为池塘水质净化与修复, E-mail:bingxw@ffrc.cn;陈家长,硕士,研究员,研究方向为渔业生态环境保护, E-mail:chenjz@ffrc.cn。

Scientific Fisheries,1966,32:502-508.

[8]张龙翔.生化试验方法和技术[M].北京:高等教育出版社,1981:94-112.

[9]易昌金,胡俊茹,胡毅,等.凡纳滨对虾对黑水虻幼虫粉营养物质的表观消化率[J].饲料工业,2018,39(4):21-25.

[10]Spyridakis P, Metailler R, Gabaudan J. Studies on nutrient digestibility in European sea bass *Dicentrarchus labrax*: 1. Methodological aspects concerning faecal collection [J]. Aquaculture,1989,77(1):61-70.

[11]董小林,解绶启,雷武,等.粪便收集方式对异育银鲫表观消化率测定的影响[J].水生生物学报,2012,36(3):450-456.

[12]郑君明,张曦,郑斌.鱼饲料消化率测定方法的研究[J].江西饲料,2002(5):23-27.

[13]陈广信,曹赞,高振华.不同收粪方法对测定畜禽营养物质消化率的影响[J].中国农学通报,2014,30(2):22-25.

[14]Cho C Y, Slinger S J. Apparent digestibility measurement in feed stuffs for rainbow trout,2[M]. Berlin:Heenenanm,1979:239-

247.

[15]刘修英,王岩,王建华.苏氏圆腹鲢对6种常用饲料原料的表观消化率[J].水生生物学报,2009,33(4):778-781.

[16]Zou Y, Ai Q H, Mai K S, et al. Effects of brown fish meal replacement with fermented soybean meal on growth performance, feed efficiency and enzyme activities of Chinese soft-shelled turtle, *Pelodiscus sinensis*[J]. Journal of Ocean University of China,2012,11(2):227-235.

[17]袁玥,许兆滨,杨宪时,等.脱氧剂对南极磷虾粉贮藏性能的影响[J].食品工业科技,2014,35(7):322-325.

[18]付晶晶,黄燕华,曹俊明,等.花鲈对6种饲料原料的表观消化率[J].饲料研究,2014,25(3):48-54.

[19]张微微,徐维娜,王莹,等.饲料中赖氨酸水平对克氏原螯虾生长、体组成与消化酶活性的影响[J].中国水产科学,2013,43(2):402-410.

[20]钱国英.中华绒螯蟹对常用饲料原料氨基酸的消化率[J].宁波大学学报(理工版),1998(4):17-21.

长,降低水体细菌数量,影响水体微生物群落功能多样性^[6],底部可以投放固定化微生物的培养基、EM 菌和能降解有机质的酶类物质。

针对养殖尾水修复,一般可通过物理、化学和生物 3 种途径进行处理,生物滤池对总磷(TP)去除效果不好,往往配合人工湿地(如表面流)增强对氮、磷的消除效果。从理论和实践角度观察,生物修复能较好地解决养殖池塘生态环境污染问题,混养模式有利于水质氮、磷净化与修复,如鲈鱼、对虾和台湾红罗非鱼三元混养可有效降低残饵对底质的有机积累,改善水体环境;蚌鱼混养对主养区养殖尾水具有较好的净化效能。种养循环渔业模式(如水鱼菜系统、闭合循环水系统)也能较好地对水质进行净化,有学者通过贝、藻分养系统改善了对虾养殖系统环境;种植大型藻类(江蕨)等水生植物、放养牡蛎等贝类及鳊鱼、大黄鱼、黑鲷等,有利于构建和改善种群结构,抑制赤潮发生(体现为降低氮、磷浓度)。笔者所在课题组在池塘中按浮床植物、人工基质固定化微生物和沉水植物构建多级生物修复系统,水质氮、磷去除率达 32.5% ~ 68.1%^[7]。对于绝大多数池塘来说,原位修复较异位修复更直接、操作更简单、投入更少,养殖户可独立使用各项技术。但如何将水体上、中、下层水质调控技术有机结合,对养殖池塘水质进行纵向生态调控,协同强化氮、磷去除效果,此类相关集成示范研究较少。本研究集成上、中、下层水质调控技术,以吉富罗非鱼养殖池塘为对象,研究该技术对池塘水质氮、磷净化效果,并进行环境、效益评估。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2018 年 6—10 月在淡水渔业研究中心宜兴杞亭基地进行,依课题组前期研究^[1-2],蔬菜种植占水面面积比例为 5% 和 10%;生物弹性填料材质为全塑性夹片和维纶醛化丝,比表面积为 800 m²/m³,购自江苏大度塑材有限公司,按 2 025 根/hm² 比例,每隔 1 m 放置 1 根填料,下配重物(不锈钢螺母),用尼龙绳按间距 1 m 固定在池塘两边;藻类泼洒浓度为 10 mL/m³,泼洒频率为每隔 0.5 月泼洒 1 次。吉富罗非鱼养殖池塘选择“蔬菜+弹性填料+泼洒藻类”生态调控集成技术,具体做法是在浮床框架上悬挂填料并置于池塘中央(填料可改善植物生长不佳时对不同营养盐种类的

吸收,节省空间和成本,可成为鱼类追逐藏身之处,相比置于池塘边减少可寄生虫病害的发生,且对渔业生产如拉网影响较小),并定期泼洒藻类,在集成体两端配置增氧系统,定期开关,实现池塘水质垂直调控。选择吉富罗非鱼养殖池塘 21 口[对照组(Y0)、5% 蔬菜+5% 填料+泼藻(Y1)、5% 蔬菜+5% 填料+不泼藻(Y2)、10% 蔬菜+5% 填料+泼藻(Y3)、10% 蔬菜+5% 填料+不泼藻(Y4)、5% 蔬菜+10% 填料+泼藻(Y5)、5% 蔬菜+10% 填料+不泼藻(Y6)试验塘各 3 口,每口 0.133 hm²,水深 1.5 m]。5 月初放养吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)鱼苗 30 000 尾/hm²,搭配鳊鱼(*Aristichthys nobilis*) 225 尾/hm²(200 ~ 300 g/尾)、鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*) 300 尾/hm²(100 ~ 200 g/尾)。饲料投喂占鱼体质量 3% ~ 5%,每天投喂 3 次(无锡通威生物科技有限公司),以 30 d 吃完为标准,后期投喂量根据鱼大小做适量调整,试验塘与对照塘养殖期间管理和病害防治一致。

浮床种植试验:选用 PVC 管材料($\Phi = 50$ mm)制作浮床,规格为 2 m×2 m。浮床两面分别用网孔为 30 mm(便于苗扦插)的网片包裹。试验开始前,将预先培育好的蔬菜苗(*Ipomoea aquatica*),按株行距 20 cm×30 cm 进行扦插,并将浮床集中固定在池塘中排列整齐,每 3 个浮床用尼龙绳连接成组。

1.2 试验方法

采样时间固定为每月 18 日上午约 10:00。通过采集对照和试验塘水样 500 mL(五点法),按《水和废水监测分析方法》测量 COD_{Mn}(高锰酸钾-草酸钠滴定法)、叶绿素 a(丙酮提取法和分光光度计法)、TN(碱性过硫酸钾氧化-紫外分光光度计法)、NH₃-N(纳氏试剂光度法)、NO₃⁻-N(酚二磺酸光度法)、NO₂⁻-N[N-(1-萘基)-乙二胺光度法]、TP(硝酸-硫酸消解法)、PO₄³⁻-P(钼酸铵法)等水质指标。

1.3 统计学分析

数据结果采用“均值±标准差”,用 SPSS 11.0 软件进行 A-NOVA 分析(LSD 法检验), $P < 0.05$ 表示差异显著,并分别用不同小写字母表示。

2 结果与分析

2.1 水质净化效果

由表 1 可知,6 月试验组叶绿素 a、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N、PO₄³⁻-P(除 Y5 组)显著降低,Y3、Y5 组

COD_{Mn}显著降低,Y3 组 TN 显著降低,Y1、Y2、Y3 组 NH₃ - N 显著降低但 Y6 组显著升高,Y1 组 TP 显著降低但 Y2、Y4 组显著升高。7 月试验组 COD_{Mn}、叶绿素 a、TN、NH₃ - N、NO₃⁻ - N、NO₂⁻ - N、PO₄³⁻ - P (除 Y6 组)显著降低,Y1、Y4、Y5 组 TP 显著低于 Y0 组,但 Y2、Y3、Y6 组 TP 显著高于 Y0 组。8 月试验

组叶绿素 a(除 Y2、Y6 组)、NO₃⁻ - N、NO₂⁻ - N 显著降低,Y4、Y5 组 COD_{Mn}、NH₃ - N、TP 显著降低,Y3、Y4 组 PO₄³⁻ - P 显著降低。9 月试验组 NO₃⁻ - N、NO₂⁻ - N(除 Y2、Y3 组)显著降低,Y4、Y5 组叶绿素 a 显著降低,Y1、Y2 组 TN 显著高于 Y0 组,Y2、Y3、Y5、Y6 组 NH₃ - N 显著降低,Y2、Y3、Y6 组与 Y4、

表 1 宜兴妃亭科研实验基地原位修复集成技术池塘水质指标

		mg/L							
月份	处理组	高锰酸盐指数 (COD _{Mn})	叶绿素 a 含量	总氮 (TN) 含量	氨氮 (NH ₃ - N) 含量	硝态氮 (NO ₃ ⁻ - N) 含量	亚硝态氮 (NO ₂ ⁻ - N) 含量	总磷 (TP) 含量	磷酸盐 (PO ₄ ³⁻ - P) 含量
6 月	Y0	9.85 ± 1.20a	240.12 ± 10.54a	3.63 ± 0.34a	0.61 ± 0.12b	0.64 ± 0.10a	1.45 ± 0.16a	0.82 ± 0.02b	0.38 ± 0.02a
	Y1	9.10 ± 1.32a	170.89 ± 8.95b	3.15 ± 0.26ab	0.35 ± 0.14c	0.14 ± 0.02b	0.34 ± 0.04c	0.47 ± 0.02c	0.25 ± 0.02c
	Y2	8.91 ± 0.87a	164.56 ± 9.97b	3.58 ± 0.27a	0.37 ± 0.16c	0.16 ± 0.02b	0.49 ± 0.05b	1.38 ± 0.03a	0.34 ± 0.03b
	Y3	6.35 ± 0.65b	139.47 ± 6.32c	2.98 ± 0.36b	0.42 ± 0.13c	0.21 ± 0.01b	0.23 ± 0.02c	0.79 ± 0.04b	0.29 ± 0.01b
	Y4	8.02 ± 0.49ab	160.88 ± 5.78b	3.56 ± 0.28a	0.76 ± 0.08b	0.16 ± 0.01b	0.44 ± 0.06b	1.14 ± 0.05a	0.12 ± 0.01d
	Y5	6.77 ± 0.63b	142.59 ± 11.57c	3.02 ± 0.36ab	0.72 ± 0.09b	0.18 ± 0.01b	0.32 ± 0.03c	0.76 ± 0.01b	0.44 ± 0.02a
	Y6	7.64 ± 0.22ab	178.21 ± 12.54b	4.08 ± 0.24a	0.93 ± 0.07a	0.17 ± 0.01b	0.51 ± 0.05b	0.83 ± 0.02b	0.25 ± 0.01c
7 月	Y0	25.94 ± 2.48a	251.99 ± 20.44a	5.65 ± 0.45a	3.08 ± 0.10a	0.56 ± 0.11a	1.52 ± 0.10a	1.77 ± 0.10b	0.44 ± 0.02a
	Y1	12.89 ± 1.36b	164.58 ± 16.55bc	4.59 ± 0.36b	1.62 ± 0.11bc	0.13 ± 0.01c	0.64 ± 0.04b	1.00 ± 0.10c	0.34 ± 0.03b
	Y2	13.21 ± 1.11b	155.27 ± 18.20bc	4.84 ± 0.24b	1.38 ± 0.09c	0.18 ± 0.01b	0.44 ± 0.02c	2.70 ± 0.02a	0.26 ± 0.04bc
	Y3	14.09 ± 2.05b	136.44 ± 14.14c	3.76 ± 0.38c	1.46 ± 0.11c	0.19 ± 0.02b	0.35 ± 0.03c	2.85 ± 0.04a	0.32 ± 0.04b
	Y4	10.59 ± 1.63b	152.24 ± 12.55bc	4.86 ± 0.27b	2.27 ± 0.08b	0.12 ± 0.01c	0.49 ± 0.05c	1.33 ± 0.03c	0.20 ± 0.02c
	Y5	11.07 ± 1.72b	163.74 ± 13.14bc	3.85 ± 0.26c	2.07 ± 0.07b	0.12 ± 0.01c	0.36 ± 0.04c	1.37 ± 0.05c	0.30 ± 0.03b
	Y6	12.10 ± 1.64b	189.91 ± 14.12b	4.59 ± 0.34b	1.68 ± 0.11bc	0.12 ± 0.01c	0.26 ± 0.03d	2.83 ± 0.04a	0.41 ± 0.04a
8 月	Y0	16.84 ± 2.87a	213.73 ± 18.22a	6.46 ± 0.61ab	2.38 ± 0.12a	0.44 ± 0.03a	1.71 ± 0.09a	2.99 ± 0.12ab	1.49 ± 0.14ab
	Y1	15.85 ± 1.54a	130.07 ± 17.32b	6.97 ± 0.45ab	2.43 ± 0.11a	0.15 ± 0.01b	0.29 ± 0.02d	2.46 ± 0.13b	1.78 ± 0.15a
	Y2	13.29 ± 1.36ab	225.15 ± 16.20a	7.11 ± 0.71a	2.76 ± 0.16a	0.19 ± 0.02b	0.46 ± 0.02c	3.32 ± 0.14a	0.85 ± 0.20b
	Y3	13.37 ± 1.28ab	133.22 ± 12.42b	7.20 ± 0.63a	2.90 ± 0.20a	0.23 ± 0.04b	0.54 ± 0.04bc	2.92 ± 0.15ab	0.23 ± 0.14d
	Y4	11.31 ± 1.36b	130.86 ± 12.56b	5.87 ± 0.55b	1.19 ± 0.09b	0.22 ± 0.02b	0.87 ± 0.06b	1.05 ± 0.02d	0.55 ± 0.06c
	Y5	11.48 ± 1.05b	103.02 ± 10.44b	5.38 ± 0.43b	1.78 ± 0.08b	0.19 ± 0.03b	0.17 ± 0.02e	1.66 ± 0.14c	1.33 ± 0.08ab
	Y6	16.67 ± 1.33a	193.89 ± 11.72ab	8.04 ± 0.78a	2.95 ± 0.10a	0.21 ± 0.02b	0.61 ± 0.03bc	3.47 ± 0.15a	1.47 ± 0.10ab
9 月	Y0	18.67 ± 1.22	172.94 ± 9.58c	8.45 ± 0.56bc	0.65 ± 0.07a	3.47 ± 0.23a	0.89 ± 0.01a	1.94 ± 0.05c	1.55 ± 0.08bc
	Y1	19.10 ± 1.18	208.83 ± 9.77b	10.08 ± 0.64a	0.67 ± 0.06a	0.80 ± 0.10c	0.19 ± 0.02b	2.22 ± 0.04bc	1.32 ± 0.13c
	Y2	18.07 ± 1.36	316.11 ± 14.12a	10.19 ± 0.82a	0.42 ± 0.08b	0.45 ± 0.08d	0.74 ± 0.04a	2.51 ± 0.06b	2.25 ± 0.12a
	Y3	17.55 ± 1.45	164.99 ± 11.35cd	9.04 ± 0.73b	0.45 ± 0.06b	0.75 ± 0.04c	0.83 ± 0.03a	3.54 ± 0.04a	1.52 ± 0.07bc
	Y4	16.60 ± 1.24	137.68 ± 10.47d	8.79 ± 0.52b	0.65 ± 0.04a	0.70 ± 0.06c	0.05 ± 0.01c	0.96 ± 0.07e	0.39 ± 0.03e
	Y5	19.62 ± 1.36	129.10 ± 10.23d	8.73 ± 0.42b	0.43 ± 0.03b	0.81 ± 0.05c	0.07 ± 0.01c	1.41 ± 0.03d	0.83 ± 0.04d
	Y6	18.15 ± 1.44	178.75 ± 7.69c	7.99 ± 0.43c	0.40 ± 0.02b	1.90 ± 0.12b	0.09 ± 0.01c	2.55 ± 0.12b	1.76 ± 0.05b
10 月	Y0	24.09 ± 2.05a	207.45 ± 12.22b	11.02 ± 0.74a	1.34 ± 0.10a	2.53 ± 0.13a	0.20 ± 0.02a	1.11 ± 0.10a	0.06 ± 0.01a
	Y1	26.07 ± 2.01a	340.55 ± 13.45a	10.70 ± 0.58a	0.92 ± 0.07b	2.39 ± 0.08a	0.15 ± 0.01b	1.04 ± 0.09a	0.02 ± 0.01c
	Y2	25.17 ± 1.85a	227.37 ± 13.33b	11.28 ± 0.46a	0.89 ± 0.06b	2.35 ± 0.15a	0.27 ± 0.03a	1.11 ± 0.08a	0.08 ± 0.01a
	Y3	23.37 ± 1.76a	214.02 ± 15.62b	7.50 ± 0.70b	0.40 ± 0.02d	1.07 ± 0.04c	0.11 ± 0.01c	0.93 ± 0.07ab	0.01 ± 0.00c
	Y4	19.31 ± 1.63b	183.11 ± 10.43c	8.13 ± 0.40b	0.63 ± 0.03c	2.29 ± 0.14a	0.15 ± 0.01b	0.86 ± 0.06b	0.04 ± 0.00b
	Y5	15.71 ± 1.22c	147.42 ± 9.77d	4.69 ± 0.20c	0.69 ± 0.05c	1.85 ± 0.16b	0.08 ± 0.01c	0.87 ± 0.05b	0.04 ± 0.00b
	Y6	19.22 ± 1.42b	153.35 ± 9.56d	5.92 ± 0.30c	0.63 ± 0.04c	1.15 ± 0.17c	0.10 ± 0.02c	0.68 ± 0.04c	0.06 ± 0.00a

注:同栏同列数据后标不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

Y5 组 TP 分别显著升高和降低, Y2 组 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 显著升高且 Y4、Y5 组 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 显著降低。10 月试验组 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 显著降低, Y4、Y5、Y6 组 COD_{Mn} 、叶绿素 a、TN、TP 显著降低且 Y1 组叶绿素 a 显著升高, Y3 组 TN 显著降低, Y3、Y5、Y6 组 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 显著降低, Y1、Y3、Y4、Y5、Y6 组 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ (除 Y6

组)显著降低。
集成整体效果观察, 水质处理效果最好为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$, 对 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 处理效果较好, 后期(8—9 月)TP 明显升高, Y1、Y2、Y3、Y6 组的水质净化效果低于 Y4、Y5(表 1、表 2)。

表 2 原位修复集成技术环境效益中水质指标平均去除效果

处理组	去除率(%)							
	高锰酸盐指数	叶绿素 a	总氮	氨氮	硝态氮	亚硝态氮	总磷	磷酸盐
Y1	10.7	3.6	1.5	23.3	60.7	64.1	19.3	22.5
Y2	15.7	-5.6	(3.5)	29.4	59.1	38.6	-32.4	3.5
Y3	22.2	25.4	13.0	32.6	63.0	56.7	-24.3	43.1
Y4	28.3	28.7	9.5	20.8	58.6	61.0	24.7	60.1
Y5	30.0	36.3	23.9	24.5	62.3	79.5	24.6	20.6
Y6	19.9	16.5	6.7	12.0	61.1	70.4	-14.1	7.4

2.2 轮作模式效益评估研究

对照组塘出鱼 22 500 kg/hm², 按照今年价格 10.6 元/kg 计算收益 31 800 元, 饲料成本 24 200 元, 水电费用 1 600 元, 人工成本 2 260 元, 收益约 11 550 元/hm²。对养殖情况进行统计发现, 平均效

益增长 9.5%, 其中 Y1(5% 薤菜 + 5% 填料 + 泼藻)和 Y5(5% 薤菜 + 10% 填料 + 泼藻)组合经济效益较好(表 3)。综合环境效益和经济效益, 认为 Y5 组(5% 薤菜 + 10% 填料 + 泼藻)可作为推广养殖模式。

表 3 原位修复集成技术经济效益

处理组	投入(元)								收益(元)			投入/收益	饵料系数	收益(元/hm ²)
	浮岛	填料	藻	塘租	水电	劳务	饲料	合计	鱼	薤菜	合计			
Y0	0	0	0	2 200	1 600	2 260	24 200	30 260	31 800	0	31 800	0.952	1.358 7	11 550
Y1	6 296	350	50	2 200	1 188	4 434	19 224	33 742	31 486	4 002	35 488	0.951	1.166 2	13 095
Y2	6 296	350	0	2 200	1 188	4 603	21 360	35 997	33 679	4 002	37 681	0.955	1.224 4	12 630
Y3	8 085	350	50	2 200	1 188	4 500	18 023	34 396	28 074	8 004	36 078	0.953	1.217 3	12 615
Y4	8 085	350	0	2 200	1 035	5 406	20 559	37 635	31 287	8 004	39 291	0.958	1.310 1	12 420
Y5	6 296	700	50	2 200	1 017	3 674	19 224	33 161	30 899	4 002	34 901	0.950	1.239 7	12 825
Y6	6 296	700	0	2 200	1 188	2 594	19 625	32 603	30 241	4 002	34 243	0.952	1.234 5	12 300

3 讨论与结论

在淡水池塘养殖过程中, 饲料仅 30% 左右的氮被水生动物同化利用, 大多数氮残留在养殖水体和沉积物中。这些有机氮首先在异养微生物的作用下形成 $\text{NH}_3 - \text{N}$, 高浓度的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 会影响水生动物生长, 降低其免疫能力。微生物通过“硝化 - 反硝化”作用, 可将 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 转化成 N_2 释放到大气中, 降低水体 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度。植物可以吸收水体和沉积物中的营养盐, 分泌他感物质等直接抑制藻类生长繁殖, 还可为摄食藻的大型浮游动物提供庇护以控

制藻类生长繁殖。浮床根系能形成生物膜通过生物絮凝作用将水体悬浮物沉降至池塘底部^[8]; 水上植物能使根系泌氧速率增强^[9], 根系形成的微氧环境有利于还原型和氧化型有机氮间的相互转换。水体中的氮主要通过根际微生物的硝化 - 反硝化反应进行去除^[10]。孙成渤等建立了由芦苇湿地、沉水植被群落、人工基质固定化微生物膜、软体底栖动物和滤食性鱼类组成的自净型多级生物修复系统, 对 N、P、浮游生物、COD、营养盐等去除效果明显^[11]; 金柏等采用膨胀珍珠岩为滤料, 结合组合式生物填料, 可使工厂化养鱼池的水质指标达到渔业

用水水质标准^[12];吴振斌等研究表明,人工湿地系统运行 9 个月后,能有效处理养殖水中的污染物,如 TSS (总悬浮固体物)、COD_{Cr}、BOD₅、TN、TP 等^[13]。

前期研究表明,8% 薹菜、5% 鱼腥草适合进行推广^[3,14-15],但不同面积比例水上作物对水质指标的影响不同^[3]。笔者所在课题组 2016 年采用 5% 比例进行薹菜-水芹轮作,发现轮作模式前、后期能显著降低青鱼和经济鱼养殖水体中 TOC、NO₃⁻-N 含量^[1],2017 年采用 10% 种植面积进行“薹菜-水芹”轮作,对 COD_{Mn}、叶绿素 a、TN、NO₃⁻-N、TP 去除效果较好,在降低 TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N 等指标上较鱼腥草有优势,且对降低 TP 具有较好效果。结合 2 年跟踪监测结果观察,薹菜-水芹轮作 10% 种植面积比 5% 在水/底质 TN(苏州未来水产养殖场,四大家鱼)和 NO₃⁻-N(无锡甘露青鱼养殖场,青鱼)上具有更好的效果。本研究中泼藻有利于 TN、NO₃⁻-N 显著降低,配合浮床^[1-2,14-15]和弹性填料^[6]对 COD_{Mn}、NH₃-N、PO₄³⁻-P、NO₂⁻-N 处理效果较好,后期总磷偏高,与课题组前期的研究结果一致^[1,16-20]。从集成的角度观察,除配置增氧系统外,还可以考虑分子氧^[21]。

参考文献:

- [1] 郑尧,陈家长,胡庚东,等. “空心菜-水芹”轮作对养殖池塘水质和底质环境的影响[J]. 上海海洋大学学报,2018,27(1): 98-105.
- [2] 郑尧,陈家长,孟顺龙,等. “中草药/空心菜-水芹”轮作对养殖池塘水质和底质环境的影响[J]. 西南农业学报,2018,31(增刊1):11-15.
- [3] 郑尧,邴旭文,裴丽萍,等. 浮床栽培鱼腥草对吉富罗非鱼胆汁液中八种免疫因子的影响[J]. 农业环境科学学报,2016,35(9):1680-1685.
- [4] 孟顺龙,李丹丹,裴丽萍,等. 添加藻类和有机肥对罗非鱼养殖水体浮游植物群落结构的影响[J]. 农业环境科学学报,2017,36(10):2099-2105.
- [5] 孟顺龙,李丹丹,裴丽萍,等. 鸡粪和牛粪对罗非鱼养殖水体中浮游植物群落结构的影响[J]. 大连海洋大学学报,2017,32(5): 550-556.
- [6] 史磊磊,范立民,陈家长,等. 组合填料对水质、罗非鱼生长及水体微生物群落功能多样性的影响[J]. 农业环境科学学报,2017,36(8):1618-1626.
- [7] 杨琳. 利用多级生物系统修复池塘养殖环境[D]. 南京:南京农业大学,2008.
- [8] 罗国芝,朱泽闻,潘云峰,等. 生物絮凝技术在水产养殖中的应用[J]. 中国水产,2010(2):62-63.
- [9] 黄永芳,杨秋艳,张太平,等. 水培条件下两种植物根系分泌特征及其与污染物去除的关系[J]. 生态学杂志,2014,33(2):373-379.
- [10] 王珊珊,翁沁玉,袁檬,等. 浮床栽培薹菜根际脱氮微生物研究[J]. 湖南生态科学学报,2015,2(1):6-10.
- [11] 孙成渤,李建国,赵冬艳,等. 循环养殖系统中多级生物处理对水质的调控作用[J]. 淡水渔业,2010,40(3):36-43.
- [12] 金柏,张权,周天倪. 养鱼水综合净化处理技术研究[J]. 水产科技情报,2010,37(3):128-131.
- [13] 吴振斌,李谷,付贵萍,等. 基于人工湿地的循环水产养殖系统工艺设计及净化效能[J]. 农业工程学报,2006,22(1): 129-133.
- [14] 邴旭文,陈家长. 浮床无土栽培植物控制池塘富营养化水质[J]. 湛江海洋大学学报,2001,21(3):29-33.
- [15] 陈家长,孟顺龙,胡庚东,等. 空心菜浮床栽培对集约化养殖鱼塘水质的影响[J]. 生态与农村环境学报,2010,26(2):155-159.
- [16] 宋超,刘盼,朱华,等. 水芹对富营养化水体的净化效果研究[J]. 水生态学杂志,2011,32(3):145-148.
- [17] 郑尧,赵志祥,陈家长,等. “鱼腥草-空心菜-鱼腥草”三明治模型对吉富罗非鱼养殖池塘水质和底质的影响[J]. 南方农业学报,2017,48(增刊1):155-158.
- [18] 郑尧,赵志祥,邴旭文,等. 鱼腥草种植对吉富罗非鱼养殖池塘污染物的影响[J]. 中国农学通报,2017,33(32):140-144.
- [19] 郑尧,胡庚东,裴丽萍,等. 浮床栽培鱼腥草对吉富罗非鱼血清免疫因子的影响[J]. 生态与农村环境学报,2017,33(10): 950-954.
- [20] 郑尧,胡庚东,裴丽萍,等. 浮床虎杖对不同浓度铵盐的降解效果[J]. 中国农学通报,2019,35(2):153-157.
- [21] 敬小军,袁新华. 生物净化集成系统改善精养池塘水质的效果[J]. 环境科学与管理,2011,36(6):50-55,63.