

钟文武,吴敬东,赵树海,等. 组合型植物浮床对池塘水质的调控作用[J]. 江苏农业科学,2020,48(7):255-259.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.07.049

# 组合型植物浮床对池塘水质的调控作用

钟文武<sup>1</sup>, 吴敬东<sup>1</sup>, 赵树海<sup>2</sup>, 符世伟<sup>1</sup>, 周睿<sup>1</sup>, 杨光清<sup>2</sup>, 李志洪<sup>2</sup>, 严燕群<sup>2</sup>, 刘跃天<sup>1</sup>

(1. 云南省渔业科学研究院, 云南昆明 650111; 2. 大理州渔业工作站, 云南大理 671000)

**摘要:** 常规池塘养殖水体富营养化、养殖尾水的超标排放等问题, 是制约池塘养殖业健康发展的重要因素。以凤眼蓝+狐尾藻和黑麦草+薹菜为受试植物, 用聚氯乙烯(PVC)管及聚乙烯(PE)网片制成浮床, 分析 2 种组合型植物浮床对常规养殖池塘水体中总磷含量、总氮含量、高锰酸盐指数、氨氮含量及亚硝酸盐氮含量的调控作用。结果表明, 在凤眼蓝+狐尾藻、黑麦草+薹菜组合植物的生长旺盛期, 池塘总氮含量、高锰酸盐指数均能达到 SC/T 9101—2007《淡水池塘养殖水排放要求》一级标准, 对池塘总磷含量也有较好的调控效果。凤眼蓝+狐尾藻浮床对总磷含量、高锰酸盐指数的调控作用优于黑麦草+薹菜浮床, 而黑麦草+薹菜浮床对总氮和氨氮含量的调控作用要优于凤眼蓝+狐尾藻浮床。

**关键词:** 植物浮床; 水质; 富营养; 养殖尾水; 调控

**中图分类号:** X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)07-0255-05

“进、养、排”作为池塘养殖的主要形式一直延续至今, 随着水产品市场需求量的不断增大, 水体养殖密度随着增加, 残余饵料、鱼类代谢废物、外源性污染物的不断积累与底泥的释放<sup>[1]</sup>, 使养殖水体严重富营养化, 鱼类疾病多发, 质量安全难以保障, 并且超标养殖尾水的排放加剧了周围水体的富

营养化进程<sup>[2]</sup>。目前, 池塘养殖环境问题已经成为淡水养殖业健康发展的一大瓶颈。迫于环境保护的大趋势, 水库、湖泊大水面禁养与网箱、围栏大面积拆除政策相继出台, 传统的养殖方式势必要被淘汰, 接踵而来的将是养殖模式和养殖技术的革新、新养殖品种的选育等。更加严格的养殖尾水排放标准的实施, 亟需养殖户转变旧的养殖观念, 以环保为第一要务, 择优选择养殖品种, 用新的养殖技术实现养殖尾水的达标排放是淡水池塘养殖产业可持续健康发展的必由之路。随着池塘养殖生态环境修复技术的研究日益受到重视, 诸如鱼菜共生循环水养殖模式<sup>[3-4]</sup>、微生物修复技术<sup>[5-7]</sup>、底泥改良修复技术<sup>[8-9]</sup>等原位净化与修复手段及人工湿地系统<sup>[10-11]</sup>异位净化手段被应用于池塘养殖上, 取得了较好成效, 都已成为当下淡水健康养殖的研究

收稿日期: 2019-04-19

基金项目: 云南省现代农业淡水渔业产业技术体系(编号: 2018KJT0019-04); 2018—2019 年云南省“三区科技人才”服务项目。

作者简介: 钟文武(1985—), 男, 云南维西人, 硕士, 助理研究员, 从事渔业生态环境监测研究工作。E-mail: 511917380@qq.com。

通信作者: 吴敬东, 副研究员, 从事鱼类生态养殖研究工作, E-mail: wjd4443@126.com; 刘跃天, 研究员, 从事土著鱼类研究工作, E-mail: liuyt8018@126.com。

incorporated with amine groups for the adsorption of Cr(VI) and Ni(II) from single and binary systems[J]. Biochemical Engineering Journal, 2016, 105(1): 27-35.

[10] Fängmark I E, Hammarström L G, Strömqvist M E, et al. Estimation of activated carbon adsorption efficiency for organic vapours: I. A strategy for selecting test compounds[J]. Carbon, 2002, 40(15): 2861-2869.

[11] 毕于运, 高春雨, 王亚静, 等. 中国秸秆资源数量估算[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 211-217.

[12] 张继义, 梁丽萍, 蒲丽君, 等. 小麦秸秆热处理生物炭质对 Cr(VI) 的吸附性能[J]. 兰州理工大学学报, 2011, 37(2): 64-68.

[13] 张小玲, 乔玉辉, 李花粉. 玉米秸秆生物炭对溶液体系中不同重金属离子的吸附特性[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(5): 15-21.

[14] 王宇, 高宝玉, 岳文文, 等. 改性玉米秸秆对水中磷酸根的吸附动力学研究[J]. 环境科学, 2008, 29(3): 703-708.

[15] 黄福, 张帆, 王波, 等. 还原态氧化石墨烯对 Zn(II) 的吸附动力学与热力学[J]. 应用化学, 2014, 31(12): 1458-1464.

[16] Shi M, Wang Z, Zheng Z. Effect of Na<sup>+</sup> impregnated activated carbon on the adsorption of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N from aqueous solution[J]. Journal of Environmental Sciences, 2013, 25(8): 1501-1510.

[17] 张继义, 韩雪, 武英香, 等. 炭化小麦秸秆对水中氨氮吸附性能的研究[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(1): 32-36.

重点。

本试验基地右所渔场位于云南省洱源县洱海主要入湖河道永安江旁,占地面积 7.33 hm<sup>2</sup>,池塘面积 5.53 hm<sup>2</sup>,作为滇西片区主要的鱼苗繁育生产供应基地,其养殖尾水是否达标排放与洱海的保护治理息息相关。本研究旨在探索组合型植物浮床对右所渔场常规养殖池塘水质的调控作用,也为传统养殖模式的转型、养殖技术的革新提供一种思路。

1 材料与方法

1.1 试验材料

表 1 试验的基本设置					
池塘编号	鱼塘面积(m <sup>2</sup> )	放养鱼种	鱼种质量(kg)	浮床面积(m <sup>2</sup> )	受试植物
1	1 294	鲤鱼	400	128.7	薹菜 + 黑麦草
2	4 102	草鱼、鲤鱼	1 350	409.2	凤眼蓝 + 狐尾藻

1.3 水样采集时间、检测指标及检测方法

本试验时间为 2018 年 6—11 月。2 个试验塘均设置 3 个采样点,分别位于进水口、池塘中央及排水口。在试验期间,于每月中旬采集水样进行检测。水质检测指标如下:pH 值、溶解氧(DO)含量,用哈希便携式测定仪测定;透明度(SD),用透明度盘测定;高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>),参照 GB 11892—1989《水质 高锰酸盐指数的测定 酸性法》进行测定;总氮(TN)含量,参照 HJ 636—2012《水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》进行测定;总磷(TP)含量,参照 GB 11893—1989《水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法》进行测定;氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N)含量,参照 HJ 535—2009《水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法》进行测定;亚硝酸盐氮(NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N)含量,参照 GB 7493—1987《水质 亚硝酸盐氮的测定分光光度法》进行测定。

2 结果与分析

2.1 不同养殖水体中 pH 值、溶解氧含量及透明度的变化

由表 2 可以看出,在试验周期内,凤眼蓝 + 狐尾藻浮床池的 pH 值在 7.07 ~ 8.31 之间变化,薹菜 + 黑麦草浮床池的 pH 值在 6.91 ~ 8.70 之间变化,2 个试验塘间的 pH 值差异不大;薹菜 + 黑麦草浮床池的 DO 含量范围为 4.03 ~ 7.47 mg/L,优于凤眼蓝 + 狐尾藻浮床池;凤眼蓝 + 狐尾藻浮床池的透明

度在 13 ~ 43 cm 之间变化,在浮床植物生长旺盛期,水体透明度明显增加,至 90 d 时,水体透明度达到 43 cm,而薹菜 + 黑麦草浮床池的透明度在 11 ~ 25 cm 之间变化,至 60 d 时,水体透明度为 25 cm。

1.2 试验地点与浮床设计

本试验选择云南省大理州渔业工作站右所渔场的 2 个养殖池塘作为试验点,每个池塘中放养的鱼种体长为 8 ~ 10 cm,养殖本底条件基本一致。按照鱼塘面积的 10% 设置受试植物浮床,2 种组合植物的种植比例为 1 : 1,浮床由聚氯乙烯(PVC)管(直径为 50 mm)及聚乙烯(PE)网片制成,每个浮床的面积为 3.3 m<sup>2</sup>。本试验的基本设置见表 1。

表 2 pH 值、DO 含量与 SD 的变化				
植物组合	测定时间(d)	pH 值	DO 含量(mg/L)	SD (cm)
凤眼蓝 + 狐尾藻	0	7.47	3.97	13
	30	7.29	3.05	22
	60	7.07	3.75	38
	90	7.75	1.52	43
	120	7.11	5.04	14
	150	8.31	5.62	20
薹菜 + 黑麦草	0	7.27	4.42	11
	30	7.35	4.33	22
	60	6.91	4.29	25
	90	8.07	4.03	23
	120	8.10	7.47	21
	150	8.70	6.35	19

2.2 不同养殖水体中总磷含量的变化

通过测定得出监测周期内凤眼蓝 + 狐尾藻浮床和黑麦草 + 薹菜浮床试验池中总磷含量的变化情况。如图 1 所示,在试验期间,凤眼蓝 + 狐尾藻浮床池的平均总磷含量为 0.153 ~ 0.384 mg/L;随着试验的推进,池塘总磷含量的下降趋势明显,至 90 d 时降到最低值,为 0.153 mg/L,符合 GB 3838—2002

《地表水环境质量标准》中的Ⅲ类水质标准;在试验的中后期,总磷含量又呈现增大的趋势,至 120 d 时,总磷含量为 0.291 mg/L,相对于 90 d 时的 0.153 mg/L 增加了 0.138 mg/L,至 150 d 时,总磷含量为 0.281 mg/L,相对于 90 d 时的 0.153 mg/L 增加了 0.128 mg/L。在试验期间,黑麦草 + 薹菜浮床的平均总磷含量为 0.305 ~ 0.471 mg/L,一开始的下降趋势明显,至 90 d 时,池塘中总磷含量降至最低值,为 0.305 mg/L;在试验的中后期,总磷含量又呈现增大的趋势,至 120 d 时,总磷含量为 0.351 mg/L,相对于 90 d 时的 0.305 mg/L 增加了 0.046 mg/L,至 150 d 时,总磷含量为 0.353 mg/L,相对于 90 d 时的 0.305 mg/L 增加了 0.048 mg/L。

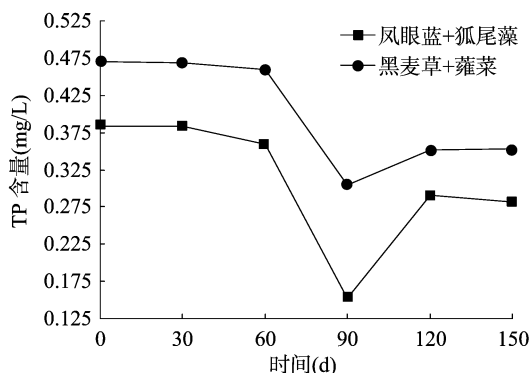


图1 不同养殖水体中总磷含量的变化

### 2.3 不同养殖水体中总氮含量的变化

通过测定得出监测周期内凤眼蓝 + 狐尾藻浮床和黑麦草 + 薹菜浮床试验池中总氮含量的变化情况。如图 2 所示,在试验期间,凤眼蓝 + 狐尾藻浮床池的平均总氮含量为 1.48 ~ 3.16 mg/L;在浮床植物生长前期,池塘总氮含量略有升高,30 d 时达到最大值,为 3.16 mg/L;在之后 2 个月内,总氮含量呈明显的下降趋势,至 90 d 时降到最低值,为 1.48 mg/L;在试验后期,池塘总氮含量相对于 90 d 时明显增大,至 120 d 时,总氮含量为 3.01 mg/L,相对于 90 d 时的 1.48 mg/L 增加了 1.53 mg/L,至 150 d 时,总氮含量为 2.96 mg/L,相对于 90 d 时的 1.48 mg/L 增加了 1.48 mg/L。黑麦草 + 薹菜浮床池平均总氮含量为 1.95 ~ 4.00 mg/L;在试验初期,池塘总氮含量有所增大,30 d 时达到最大值,为 4.00 mg/L;之后呈明显的下降趋势,至 90 d 时降至最低值,为 1.95 mg/L,在试验后期,池塘总氮含量与 90 d 时相比明显升高。

### 2.4 不同养殖水体中高锰酸盐指数的变化

通过测定得出监测周期内凤眼蓝 + 狐尾藻浮床

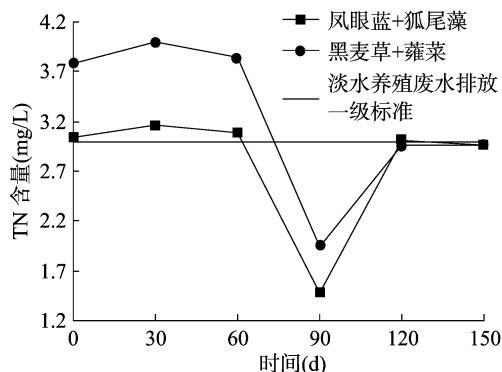


图2 不同养殖水体中总氮含量的变化

和黑麦草 + 薹菜浮床试验池中高锰酸盐指数的变化情况。由图 3 可以看出,在试验期间,凤眼蓝 + 狐尾藻浮床池的平均高锰酸盐指数为 10.35 ~ 19.69 mg/L,随着浮床植物的生长,池塘高锰酸盐指数呈现明显的下降趋势,至 90 d 时降至最低值,为 10.35 mg/L,与试验初期相比下降了 9.34 mg/L,90 d 以后则呈升高趋势。黑麦草 + 薹菜浮床池的平均高锰酸盐指数为 14.81 ~ 17.20 mg/L,30 d 时达到最大值,为 17.20 mg/L;之后呈缓慢下降趋势,90 d 时降至最低值,为 14.80 mg/L,与试验初期相比下降了 2.16 mg/L,而在试验中后期,高锰酸盐指数呈缓慢上升的趋势。

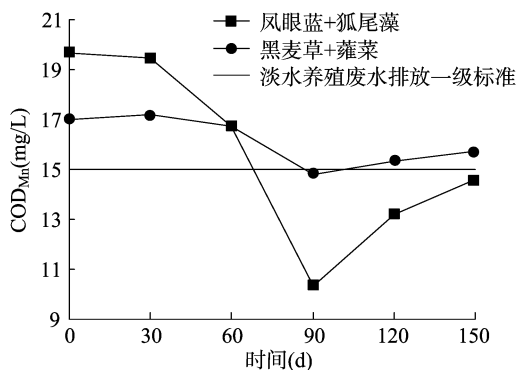


图3 不同养殖水体中高锰酸盐指数的变化

### 2.5 不同养殖水体中氨氮含量的变化

通过测定得出监测周期内凤眼蓝 + 狐尾藻浮床和黑麦草 + 薹菜浮床试验池中氨氮含量的变化情况。由图 4 可以看出,在试验期间,凤眼蓝 + 狐尾藻浮床池的平均氨氮含量为 0.51 ~ 1.07 mg/L,在试验前中期,池塘的氨氮含量略有下降,在试验后期氨氮含量明显增加,至 120 d 时达到最大值,为 1.07 mg/L。黑麦草 + 薹菜浮床池的平均氨氮含量为 0.48 ~ 0.91 mg/L,在试验进行到 30 d 时,氨氮含量达到最大值,为 0.91 mg/L;之后呈明显的下降

趋势,至 90 d 时,氨氮含量降至 0.58 mg/L,相对于 30 d 时的 0.91 mg/L 下降了 0.33 mg/L;至 150 d 时,氨氮含量为 0.48 mg/L,相对于 30 d 时的 0.91 mg/L 下降了 0.43 mg/L。

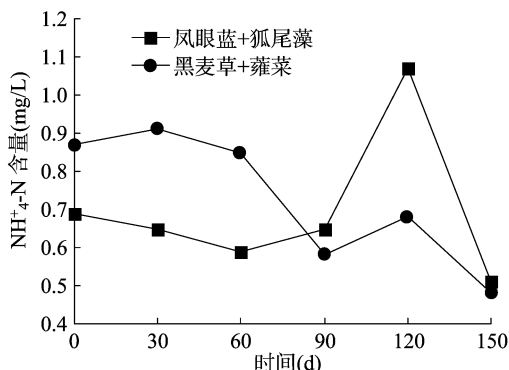


图4 不同养殖水体中氨氮含量的变化

## 2.6 不同养殖水体中亚硝酸盐氮含量的变化

通过测定得出试验周期内凤眼蓝 + 狐尾藻浮床和黑麦草 + 薺菜浮床试验池中亚硝酸盐氮含量的变化情况。由图 5 可以看出,在监测期间,凤眼蓝 + 狐尾藻浮床池中的平均亚硝酸盐氮含量为 0.024 ~ 0.043 mg/L,到试验中后期,亚硝酸盐氮含量出现了明显增大的趋势,至 120 d 时达到最大值,为 0.043 mg/L,与试验初期相比增加了 0.016 mg/L;黑麦草 + 薺菜浮床池中的平均亚硝酸盐氮含量为 0.011 ~ 0.032 mg/L,在整个试验过程中,亚硝酸盐氮含量持续降低,生长旺盛期下降明显,至 150 d 时,亚硝酸盐含量为 0.011 mg/L,与试验初期相比下降了 0.020 mg/L。

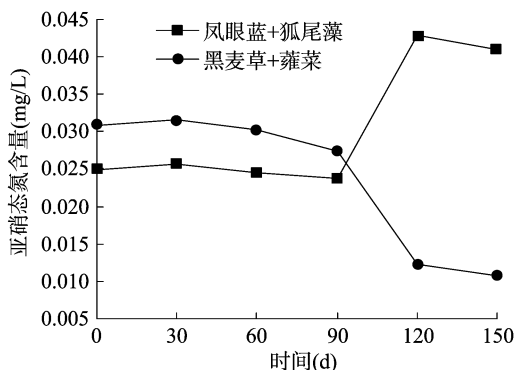


图5 不同养殖水体中亚硝态氮含量的变化

## 3 讨论

本试验地点位于云南省大理州洱源县右所镇,由于平均气温偏低,单品种的薺菜种植长势较慢,经济价值偏低。基于此,本研究选择黑麦草 + 薺菜

和凤眼蓝 + 狐尾藻作为受试植物,以探讨植物浮床对常规养殖池塘常见理化指标的影响,同时明确经浮床处理的常规养殖池塘尾水能否按照养殖尾水排放标准排放。

氮、磷作为养殖水体富营养化的关键因子<sup>[12-13]</sup>,是水生植物生长所必需的重要营养元素,水上浮床的介入为水生植物从养殖水体吸收氮和磷等营养物质提供了支撑,对于减轻养殖水体富营养化程度有较好的作用<sup>[14-15]</sup>。高锰酸盐指数是衡量水体富营养化程度的重要指标之一,其浓度反映了水体中可被氧化的有机物、无机物含量。本试验研究了凤眼蓝 + 狐尾藻和黑麦草 + 薺菜浮床对养殖池塘中总磷、总氮、氨氮、亚硝酸盐氮及高锰酸盐指数的调控作用,通过对试验结果进行分析发现,组合型植物浮床对养殖池塘目标水质因子均有较大影响。在受试植物初育期,总磷、总氮含量和高锰酸盐指数的下降不明显,这可能是由于受试植株还处于生长适应期,根系不够发达,植株生物量的增加不大,对氮磷的吸收利用较少,随着生长的加快,植物根系逐渐增长,对水体中氮磷的吸收利用能力增强。在受试植物生长旺盛期(90 d),凤眼蓝 + 狐尾藻浮床池中总磷含量降至 0.153 mg/L,符合 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中的Ⅲ类水质标准,黑麦草 + 薺菜浮床池中的总磷含量降至最低值,为 0.305 mg/L。此外,在受试植物生长旺盛期(90 d),凤眼蓝 + 狐尾藻浮床池中的总氮含量、高锰酸盐指数分别降至 1.48、10.35 mg/L,均达到 SC/T 9101—2007《淡水池塘养殖水排放要求》一级标准,黑麦草 + 薺菜浮床池的总氮含量、高锰酸盐指数分别下降至 1.95、14.80 mg/L,均达到 SC/T 9101—2007《淡水池塘养殖水排放要求》一级标准。在生长旺盛的季节,凤眼蓝 + 狐尾藻浮床和黑麦草 + 薺菜浮床对养殖池塘中的氨氮有一定的去除作用,黑麦草 + 薺菜浮床对氨氮的去除能力明显优于凤眼蓝 + 狐尾藻浮床。由于受气候条件的影响,浮床植物的生长旺盛期持续时间不长,在试验进行到 90 d 后,浮床植物生长开始减缓、衰退,2 个试验池塘水体总磷含量、总氮含量、高锰酸盐指数、氨氮含量出现了回升趋势,而黑麦草 + 薺菜浮床池中的亚硝酸盐氮在整个试验周期内维持在较低水平,可见该养殖水体对亚硝酸盐氮的控制作用优于凤眼蓝 + 狐尾藻浮床池。试验结果表明,处于生长旺盛期的植物浮床对养殖池塘水体中常规水质指标有

较好的控制作用,根据实际的养殖条件、气候条件,选择合适的受试植物进行植物浮床的生态修复,是实现养殖尾水达标排放的有效途径之一。

从常规养殖经验可以看出,对于传统的池塘养殖,在养殖中后期,由于鱼体生长代谢废物的累积、过剩饵料的分解等因素,池塘水体中的污染物浓度随着鱼类生长速度的加快而出现增大的趋势<sup>[16-17]</sup>,而植物浮床植物的介入,对养殖池塘水体中总磷含量、总氮含量、高锰酸盐指数、氨氮含量及亚硝酸盐氮含量有较好的调控作用,从而起到降低氮、磷负荷的作用。有研究发现,浮床植物的吸收和固氮、解磷微生物的作用是养殖水体中氮和磷去除的主要途径<sup>[18-20]</sup>。本试验仅针对受试植物浮床池塘水体水质的变化,未对受试植物的生物量进行测定,关于受试植物在生长过程中吸收利用氮磷的比例,以及在试验过程中是否存在固氮、解磷微生物的作用还有待进一步研究。

#### 4 结论

本试验研究了凤眼蓝 + 狐尾藻浮床和黑麦草 + 薹菜浮床对常规养殖池塘水体中总磷、总氮、氨氮、亚硝酸盐氮含量及高锰酸盐指数的调控作用。结果表明,在凤眼蓝 + 狐尾藻生长旺盛期,池塘总磷含量符合 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中的Ⅲ类水质标准,总氮含量、高锰酸盐指数均能达到淡水养殖废水排放的一级标准;在黑麦草 + 薹菜生长旺盛期,对池塘水体总磷含量也有较好的控制作用,总氮含量、高锰酸盐指数均能达到淡水养殖废水排放的一级标准,凤眼蓝 + 狐尾藻浮床对总磷含量、高锰酸盐指数的调控作用优于黑麦草 + 薹菜浮床,而黑麦草 + 薹菜浮床对总氮、氨氮及亚硝酸盐氮含量的调控作用要优于凤眼蓝 + 狐尾藻浮床。根据实际的养殖条件,择优选择受试品种、在养殖过程中融入植物生态修复技术,是实现生态健康养殖、尾水达标排放的有效途径之一。

#### 参考文献:

[1] 胡家文,姚维志. 养殖水体富营养化及其防治[J]. 水生态学杂志,2005,25(6):74-76.

- [2] 冯东岳. 浅析我国水产养殖废水处理技术的发展现状与趋势[J]. 科学养鱼,2015,31(9):1-3.
- [3] 李 微,任黎华,戴永良. 池塘鱼菜共生循环水养殖技术[J]. 水产养殖,2018(12):27-28.
- [4] 饶 伟,李道亮,位耀光,等. 循环水养殖新模式—鱼菜共生系统[J]. 中国水产,2017(5):76-79.
- [5] 杨世平,邱德全. 水产养殖水体水质污染及水质处理微生物制剂的研究和应用现状(续)[J]. 中国水产,2004(8):83-84.
- [6] 信艳杰,胡晓娟,曹煜成,等. 光合细菌菌剂和沼泽红假单胞菌对实验水体氮磷营养盐和微生物群落的影响[J]. 南方水产科学,2019,15(1):31-41.
- [7] 吴 伟,陈家长,胡庚东,等. 利用人工基质构建固定化微生物膜对池塘养殖水体的原位修复[J]. 农业环境科学学报,2008,27(4):1501-1507.
- [8] 王兆平. 池塘养殖底质的改良与修复[J]. 渔业致富指南,2017(18):26-27.
- [9] 邓必祥,余 米,苏胜齐,等. 三种改良剂对养殖池塘底泥的修复效果初探[C]//中国水产学会. 2016 年中国水产学会学术年会论文集,2016.
- [10] 谢小龙,吴振斌,徐 栋,等. 复合垂直流人工湿地处理养殖废水的 TSS 动态研究[J]. 农业环境科学学报,2008(1):312-317.
- [11] 周 元,朱建强,李 谷,等. 稻田对池塘养殖肥水的吸收利用效果研究[J]. 灌溉排水学报,2011,30(5):78-81.
- [12] 刘 革. 水体富营养化的成因、危害及防治措施[J]. 中国水产,2009(10):68-69.
- [13] 戴晓玲,杨 芳,赵天龙,等. 基于综合水质标识指数法的混养鱼塘水体富营养化评价和特征分析[J]. 水产科技情报,2014,41(3):113-119.
- [14] 宋 超,陈家长,戈贤平,等. 浮床栽培空心菜对罗非鱼养殖池塘水体中氮和磷的控制[J]. 中国农学通报,2011,27(23):70-75.
- [15] 吴 湘,王友慧,郭建林,等. 3 类水生植物对池塘养殖废水氮磷去除效果的研究[J]. 西北植物学报,2010,30(9):1876-1881.
- [16] 田永华,陈豫华,刘彦斌. 宁夏地区主养鲤鱼池塘水质指标变化规律和氮磷收支[J]. 科学养鱼,2015(12):52-53.
- [17] 高 攀,蒋 明,赵宇江,等. 主养草鱼池塘水质指标的变化规律和氮磷收支[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2009,24(1):71-77.
- [18] 周小平,徐晓峰,王建国,等. 3 种植物浮床对冬季富营养化水体氮磷的去除效果研究[J]. 中国生态农业学报,2007,15(4):102-104.
- [19] Barry K. 罗非鱼集约化养殖池塘 *nifh* - 基因编码固氮细菌的群落结构多样性的鉴定和分类[D]. 南京:南京农业大学,2016.
- [20] 胡晓娟,许云娜,胡百文,等. 解磷菌 PSBHY-3 对池塘底泥的解磷效果[J]. 南方农业学报,2018,49(10):2096-2102.