

暗纹东方立体种养模式和单养模式的水质变化及养殖能效比较

施永海, 谢永德, 徐嘉波, 税春, 袁新程, 刘永士, 杨明

Comparative analysis of water quality changes and cultural efficiencies between multistory culture model and traditional monoculture model of obscure puffer (*Takifugu obscurus*)

SHI Yonghai, XIE Yongde, XU Jiabo, SHUI Chun, YUAN Xincheng, LIU Yongshi, YANG Ming

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20200603090>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

3种养殖模式下暗纹东方的生长及水质变化

Growth performance of *Takifugu obscurus* and water quality variation in three aquaculture modes

水产科技情报. 2021, 48(1): 14 <https://doi.org/10.16446/j.fsti.20200500118>

暗纹东方不同养殖模式下的微生物群落结构

Microbial community structure in different cultural patterns of *Takifugu obscurus*

水产学报. 2021, 45(2): 209 <https://doi.org/10.11964/jfc.20200212170>

暗纹东方、南美白对虾和空心菜立体种养模式初探

水产科技情报. 2020, 47(4): 193 <https://doi.org/10.16446/j.fsti.20200100215>

饲料糊精水平对暗纹东方幼鱼生长、消化酶活性和血液生化指标的影响

Effect of dietary dextrin levels on growth, activities of digestive enzyme and blood biochemical indices of juvenile obscure puffer (*Takifugu obscurus*)

水产学报. 2013, 37(9): 1359 <https://doi.org/10.3724/SP.J.1231.2013.38589>

暗纹东方心型脂肪酸结合蛋白H-FABP基因克隆与表达分析

Molecular cloning and feature analysis of heart-type fatty acid-binding protein H-FABP gene from obscure puffer (*Takifugu obscurus*)

水产学报. 2014, 38(11): 1808 <https://doi.org/10.3724/SP.J.1231.2014.49262>

饲料中糖/脂肪比对暗纹东方幼鱼生长、血液指标、肝代谢酶活性及PEPCK基因表达的影响

Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratio on growth, blood biochemical indices, hepatic metabolic enzymes and PEPCK gene expression of juvenile obscure puffer (*Takifugu obscurus*)

水产学报. 2014, 38(8): 1149 <https://doi.org/10.3724/SP.J.1231.2014.49175>

文章编号: 1674-5566(2021)05-0789-11

DOI:10.12024/jsou.20200603090

暗纹东方鲀立体种养模式和单养模式的水质变化及养殖能效比较

施永海, 谢永德, 徐嘉波, 税春, 袁新程, 刘永士, 杨明

(上海市水产研究所, 上海市水产技术推广站, 上海 200433)

摘要:为解决暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*)单一品种的池塘养殖瓶颈问题,开发和建立多物种、多营养层次的生态立体种养池塘生态系统,于2019年研究了暗纹东方鲀(1.2万尾/hm²)、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*) (24万尾/hm²)和蕹菜(*Ipomoea aquatica* Forsk)的立体种养模式与暗纹东方鲀传统单养模式(1.5万尾/hm²)的水质变化及养殖能效差异。结果显示:暗纹东方鲀立体种养模式和传统单养模式池塘水体的pH、总氮(TAN)、亚硝酸氮(NO₂-N)和硝酸氮(NO₃-N)等水质指标数值保持在较理想范围内,这些指标中除了7月8日立体种养模式的NO₃-N显著低于传统单养模式外,其他在两种模式之间无显著性差异。立体种养模式的叶绿素a质量浓度明显低于传统单养模式。两种模式的总氮均值分别为1.38~3.96 mg/L和1.04~3.20 mg/L,养殖中后期(7月24日—10月11日),立体种养模式的总氮高于传统单养模式。立体种养模式的总磷(TP)变化随养殖时间呈现缓慢平稳上升趋势(0.26~0.42 mg/L);而传统单养模式总磷质量浓度在养殖中期较高、前期后期较低。除了5月6日监测化学耗氧量(COD)质量浓度相对较高外,其他监测的时间点两种养殖模式的COD质量浓度相对较稳定,均值为6.79~10.24 mg/L和6.83~9.15 mg/L,两模式间均无显著性差异。固体总悬浮物(TSS)质量浓度总体较高,特别是6月13日的水源、7月24日及8月19日的传统单养模式和9月15日的立体种养模式的TSS质量浓度均超过150 mg/L。各监测时间点的TSS质量浓度在两种养殖模式之间无显著性差异。两种模式暗纹东方鲀的养殖有助于池塘水体的pH、TAN、NO₂-N和NO₃-N的净化,对水体中总磷(TP)和TSS的影响不明显,但会造成水体中总氮(TN)和COD质量浓度升高。立体种养模式和传统单养模式的暗纹东方鲀生长没有显著性差异,放养密度(1.2万~1.5万尾/hm²)没有造成暗纹东方鲀生长的空间胁迫。除了立体种养模式的暗纹东方鲀的单位产量(3 426.0 kg/hm²)显著低于传统单养模式(4 055.7 kg/hm²)外,立体种养和传统单养模式的暗纹东方鲀的出池规格(293.30 g/尾和297.53 g/尾)、成活率(97.38%和94.60%)以及饵料系数(2.83和2.91)均无显著性差异。立体种养模式下套养的凡纳滨对虾生长性能良好:产量为3 056.6 kg/hm²,规格为22.48 g/尾,存活率为78.17%,饵料系数为0.68,鱼虾叠加后的饵料系数总体为1.39。相对于暗纹东方鲀传统单养模式,立体种养模式在养殖尾水排放减少11.1%的前提下,每公顷增效87 675元,每667 m²增效5 845元。

关键词: 暗纹东方鲀; 立体种养模式; 水质; 养殖能效

中图分类号: S 964.3 **文献标志码:** A

暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*),俗称河豚,属鲀形目(Tetraodontiformes)鲀科(Tetraodontidae)东方鲀属(*Takifugu*),其肌肉洁白如霜,肉味腴美,鲜嫩可口,富含蛋白质,营养丰富,被誉为“长江三鲜”之首^[1]。我国自古就有食河鲀鱼的传统习惯,尤其江浙一带,河豚一直被视为餐桌上的珍品^[1]。河豚的肝脏和卵巢可

提取河鲀毒素,经济价值和药用价值很高,具有广阔的创汇前景^[2]。目前,国内东方鲀年总产量达2.0万~5.0万t,暗纹东方鲀是东方鲀属鱼类中养殖面积最大的、养殖产量最高的品种^[1,3]。特别是2016年9月,农业农村部办公厅、国家食品药品监督管理总局联合发布了《关于有条件放开养殖红鳍东方鲀和养殖暗纹东方鲀加工经营》

收稿日期: 2020-06-28 修回日期: 2020-11-29

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科创字[2018]第2-8号);上海长江口主要经济水生动物人工繁育工程技术研究中心项目(13DZ2251800);上海市农业领军人才项目(沪委农办[2018-60号])

作者简介: 施永海(1975—),男,研究员,研究方向为水产养殖、水环境监测及繁殖生物学。E-mail: yonghais@163.com

的通知(农办渔[2016]53号),养殖东方鲀安全食用得到法律保护,暗纹东方鲀的养殖面积日益扩大,养殖总产量提高,养殖暗纹东方鲀价格日益走入成本价,2018年下半年的暗纹东方鲀商品鱼价格为32~36元/kg。

暗纹东方鲀的养殖模式主要有池塘养殖和工厂化养殖两种模式,以池塘养殖模式居多,一般采用单一品种养殖,暗纹东方鲀作为肉食性鱼类,采用单一品种的养殖容易造成饲料的浪费和病害的暴发,同时单一品种的高密度高换水养殖模式对水域环境产生很大的影响^[4],进而又反过来污染了养殖用水的水源。因此,为解决暗纹东方鲀单一品种的池塘养殖面临的上述问题,急需调整暗纹东方鲀养殖模式和池塘养殖品种结构。目前,立体种养模式主要以种植业为主,在种植空间中养殖水产品种已取得良好的效果,如稻渔、藕渔等模式,水产品种有虾类、蟹类、鱼类等,但以水产养殖为主,在水产养殖水面中种水生蔬菜的立体种养模式相对较少,水生蔬菜主要还是以蕹菜(*Ipomoea aquatica*)为主,蕹菜生长迅速、产量高,能有效去除水体中的营养物质^[5-6]。本文开展暗纹东方鲀、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)和蕹菜(*Ipomoea aquatica* Forsk)^[7]的立体种养模式和对照组(暗纹东方鲀单养模式)的水质变化及养殖能效比较,利用凡纳滨对虾摄取沉底的饲料,达到改善池塘水质及底泥环境和降低饵料系数的目的,而东方鲀又可以反过来捕食养殖的病虾或死虾,达到鱼虾等生态综合防病的效果;同时池塘水体栽种水生植物以吸取系统中的营养盐,减少水体富营养化,以期开发建立低碳、低污染、高效的暗纹东方鲀生态立体种养模式,建立多物种、多营养层次的池塘生态系统^[4],以东方鲀为主养品种,综合水产养殖和蔬菜无土栽培技术,利用水体空间和不同物种生态位及食性的差异,达到营养物质的梯度利用,提高饲料转化率,降低总饵料系数,减少废水排放,提升水产养殖能效,实现节能减排、绿色生态、优质高效的目的。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验池塘

选取6口泥沙底质的池塘,面积为0.167

hm²,水深1.5~1.8m,每个池塘配备1台1.5kW的叶轮式增氧机,进水口用60目的筛绢网过滤,排水口设网目为2mm×3mm的聚乙烯排水围网和40目的筛绢网。使用前彻底清塘消毒,清除野杂鱼和虾,加水至淹没池底浸泡,用375~600kg/hm²漂粉精溶于水后泼洒全池,至泼洒后0.5h内,全程开增氧机,而后池塘水静置3~4d,再彻底排干消毒水,加新水至淹没池底,浸泡2d后,排水,暴晒待用。

1.1.2 试验用鱼、虾

试验用鱼种为上海市水产研究所奉贤科研基地自行繁养的暗纹东方鲀1冬龄鱼种,月龄为11月龄,体长为(15.76±0.93)cm,体质量为(154.61±30.72)g, n=30。试验用虾苗为商品凡纳滨对虾苗,规格为0.8~1.0cm,盐度淡化到2以下。试验用水是当地河水。

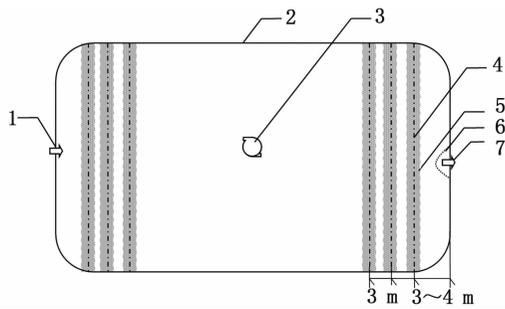
1.2 方法

1.2.1 试验设置

暗纹东方鲀养殖设置试验组(暗纹东方鲀、凡纳滨对虾和蕹菜的立体种养模式)和对照组(暗纹东方鲀传统单养模式),每组设置3个平行,即3个池塘,试验组和对照组的塘号分别为E2[#]、W2[#]、M4[#]和E4[#]、W4[#]、M2[#]。

1.2.2 放养基本情况

2019年4月24日放养暗纹东方鲀越冬鱼种,立体种养模式试验每个池塘放养2000尾,放养密度为1.2万尾/hm²,单养模式对照每个池塘放养2500尾,放养密度为1.5万尾/hm²。5月21日,在立体种养试验池塘中,每个池塘放养凡纳滨对虾苗2.9万尾,虾苗放养密度为24万尾/hm²。6月中旬立体种养模式试验池塘中采用悬绳的方法栽种蕹菜,悬绳规格为75股,直径为3.0mm,先在长方形池塘中平行于横向塘埂拉悬绳,悬绳两头系在池塘两个纵向塘埂水面处的桩头上,离横向塘埂约3~4m水面处拉第1根悬绳,然后每隔3m拉1根悬绳,一般1个横向塘埂边拉3根悬绳,所以一般每个池塘拉6根悬绳(图1);栽种蕹菜时,把悬绳反向旋开,按每隔30cm的间距,将蕹菜种直接插入悬绳中,由于蕹菜的浮力,悬绳漂浮在水面,栽种面积约是养殖面积的15%~30%。



1. 进水口; 2. 池塘塘埂; 3. 增氧机; 4. 悬绳; 5. 薹菜;
6. 排水围网; 7. 排水口。

1. Water inlet; 2. Pond ridge; 3. Aerator; 4. Suspension rope;
5. *Ipomoea aquatica* Forsk.; 6. Drain purse seine; 7. Water outlet.

图 1 立体种养池塘结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of multistory culture model pond

1.2.3 饲料投喂

暗纹东方鲀放养后第 2 天开始,投喂粗蛋白含量为 45% 的鳗鱼粉状饲料和水做成的面团,每天 2 次(8:00;14:00),以投喂后 1 h 摄食完为准。试验组凡纳滨对虾放养入池塘 1 月后,开始投喂对虾颗粒饲料,每天 2 次(10:00;16:00),以投喂后 0.5 h 摄食完为准。

1.2.4 日常管理

暗纹东方鲀放养后,及时开启增氧机:4—6 月晴天中午开机 1 h,晚上开机 8~10 h;7—9 月晚上开机 10~12 h;10—12 月晴天中午开机 1 h,晚上开机 10~12 h。天气恶劣则增加开机时间;传统单养模式池塘每半个月换水 1 次,每次换水 1/3,立体种养模式池塘换水方式和换水量同传统种养模式,只是在养殖中期减少换水 1 次。试验组薹菜割茬,防止薹菜长势太快而过多遮盖池塘,一般悬绳上的薹菜外延生长超过 1 m,就需要割茬;同时,有嫩叶嫩芽可以采摘上市。

1.2.5 起捕

试验组于 8 月 29 日开始用地笼网捕捞凡纳滨对虾,为了防止暗纹东方鲀钻入地笼,地笼的每个入口用网目规格为 3.5 cm × 3.5 cm 的网罩住,隔天捕捞,一般捕捞 7~10 次后,90% 以上的虾可以捕捞上来;10 月 18 日,开始拉网捕捞试验组和对照组的暗纹东方鲀。

1.3 生长及水质检测

暗纹东方鲀生长每 4 周监测 1 次,虾的生长

每 2 周监测 1 次,每池分别取样 30 尾,分别用卡尺(0.1 cm)和电子天平(0.01 g)测量鱼、虾的体长和体质量。

每 2 周对养殖池塘水和水源水进行检测,池塘水取样时间为换水前 1 天,水源水取样时间为加水当天;在整个养殖期间,每天的 8:00 和 16:00 测量养殖池内的水温。检测的水质指标有:总氮(total nitrogen, TN, GB 11894—1989 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法)、总氨氮(total ammonia nitrogen, TAN, 苯酚-次氯酸盐法)、亚硝酸氮(nitrite nitrogen, NO₂-N, 重氮-偶氮比色法)、硝酸氮(nitrate nitrogen, NO₃-N, 锌镉还原-重氮偶氮法)、总磷(total phosphorous, TP, GB 11893—1989 钼酸铵比色法)、化学耗氧量(chemical oxygen demand, COD, 碱性高锰酸钾法)、叶绿素 a(*Chl. a*, HJ-897—2017 分光光度法)、固体总悬浮物(total suspended solids, TSS, 滤纸称恒重)^[8-9]和酸碱度(pH, 美制 YSI-PH100 仪即时测定)^[10]。

1.4 数据处理

所有数据用 Mean ± SD 表示,采用 Excel 和 SPSS 13.0 处理数据及图表。用独立样本 *t* 检验来比较两个模式之间的水质和养殖能效^[10],以 *P* < 0.05 为差异显著,用配对样本 *t* 检验^[11]来分别比较两个模式池塘水与水源水之间的水质差异,以 *P* < 0.05 为差异显著。

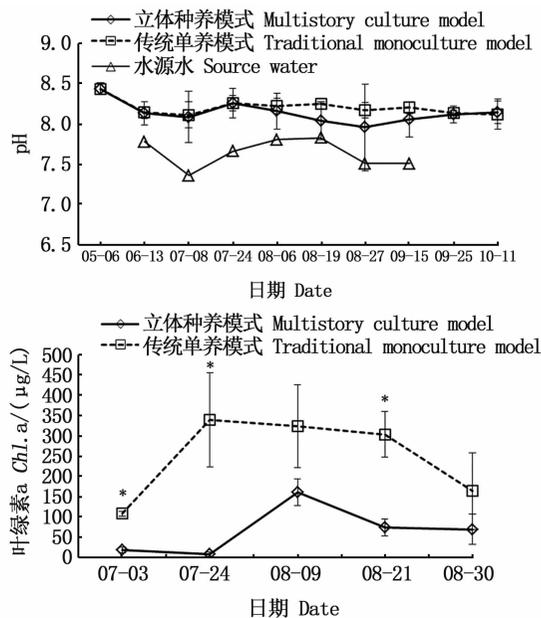
2 结果

2.1 养殖池塘水质动态变化的比较

2.1.1 pH 和叶绿素 a 质量浓度

在养殖过程中,池塘水体的 pH 升降主要取决于池塘生态系统中的硝化作用和排泄及腐败产生的酸性物质与光合作用、反硝化作用释放碱性物质等的强弱对比^[11]:硝化作用过程中会产生氢离子^[12]、生物体排泄的酸性物质、残饵及生物体排泄物腐败所产生的酸性物质会导致水体的 pH 下降;而池塘生态系统中的植物在光合作用时摄取水体中的 CO₂ 又会造成水体的 pH 上升^[12],反硝化作用过程中产生碱性物质也会提高水体的 pH^[13]。在实际露天精养池塘中,水体藻类密度是决定养殖水体 pH 高低的主要因素,在水体藻类生长良好的情况下,水体的 pH 与藻类密度往往呈现正相关,即池水中藻类密度较高,水体的 pH 也相对较高,反之亦然。整个养殖期

间,暗纹东方鲀立体种养模式和传统单养模式池塘水体的 pH 相对较稳定、且数值一直保持在较理想的范围(7.96~8.44),同时各监测时间点的 pH 在两模式之间均无显著性差异($P > 0.05$)。另外,叶绿素 a(Chl. a)质量浓度在一定程度上反映了水体中的藻类密度,监测了7月3日到8月30日5个时间点两种养殖模式的叶绿素 a 质量浓度,立体种养模式的叶绿素 a 质量浓度明显低于传统单养模式,特别是在7月3日、7月24日和8月21日时的叶绿素 a 质量浓度在两种模式之间产生显著性差异($P < 0.05$)。叶绿素 a 和 pH 数据对比显示,相对于传统单养模式,立体种养模式水体中的藻类密度相对较低,但立体种养模式中蔬菜的生长摄取了水体中的 CO_2 提升了水体的 pH^[12],这也部分替代了藻类的作用。见图2。



同一日期带*的值表示两种模式之间差异显著($P < 0.05$)。Mean values on the same date followed by * were significantly different between the two models ($P < 0.05$)。

图2 不同养殖模式的 pH 和叶绿素 a 的变化情况

Fig. 2 Changes of pH and Chl. a in various culture models

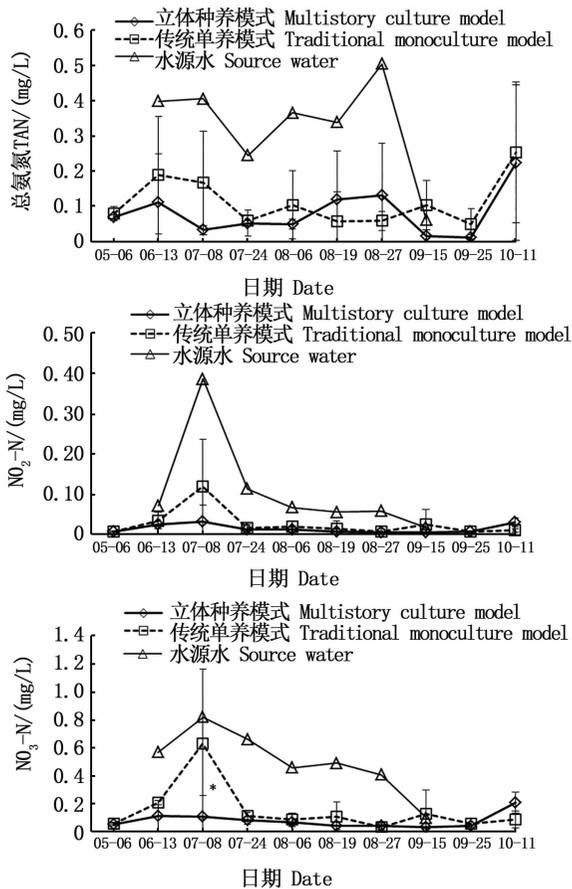
2.1.2 三态氮

水体中的氮主要以有机氮和无机氮形式存在。有机氮首先被微生物分解成氨氮(TAN),然后氨氮在硝化菌的作用下被转化为无机的亚硝态氮($\text{NO}_2\text{-N}$)和硝态氮($\text{NO}_3\text{-N}$),硝态氮通过反

硝化作用和植物的吸收而被去除^[13]。本研究中,暗纹东方鲀立体种养池塘中,栽种的蔬菜其发达根系附着大量的微生物,相对于单养模式池塘,虽然增加的微生物可以加快有机物分解、硝化作用和反硝化作用,微生物加快有机氮分解成小分子的无机氮,但这些无机氮又可以作为营养盐被池塘中蔬菜和单胞藻吸收,造成立体种养模式池塘水体中的氨氮、亚硝基氮、硝基氮的三态氮质量浓度总体较低;在暗纹东方鲀单养模式的池塘中,藻类密度相对较高,有机物分解相对较慢,这也导致了三态氮浓度总体较低;在整个养殖试验期间,两种养殖模式各时间点的氨氮(TAN)浓度较低,均值分别为0.01~0.22 mg/L和0.05~0.25 mg/L,同时各监测时间点的氨氮数值在两种养殖模式之间均无显著性差异($P > 0.05$),两种养殖模式的氨氮数值连线互相交织(图3)。两种养殖模式各监测时间点的亚硝基氮($\text{NO}_2\text{-N}$)浓度总体上比较接近且较低,均值分别为0.006 1~0.032 3 mg/L和0.007 4~0.034 8 mg/L,各时间点的亚硝基氮数值在两个养殖模式之间均无显著性差异($P > 0.05$,图3)。值得注意的是,7月8日监测的水源水亚硝基氮数值异常高(0.072 0 mg/L),该时间点的传统单养模式的亚硝基氮数值在整个养殖期间也是最高的(0.034 8 mg/L),而该时间点的立体种养模式亚硝基氮数值相对处于正常变化范围内(0.025 5 mg/L,图2)。硝基氮($\text{NO}_3\text{-N}$)的变化规律与亚硝基氮相似,两种模式各监测时间点的硝基氮浓度总体上较低,均值分别为0.041~0.209 mg/L和0.058~0.630 mg/L,除了7月8日传统养殖模式的硝基氮(0.630 mg/L)显著高于立体种养模式(0.110 mg/L, $P < 0.05$),其他各时间点的硝基氮数值在两个养殖模式之间均无显著性差异($P > 0.05$)。值得注意的是,7月8日监测的水源水硝基氮数值也异常高(0.822 mg/L)。见图3。

2.1.3 总氮、总磷的变化

总氮(TN)是池塘水体富营养化的主要指标之一,养殖池塘系统的总氮主要来源于外源水和投入品(如饲料)^[7],在外源水总氮浓度相对稳定的情况下,养殖池塘系统总氮主要取决于饲料投入量,也有研究^[14]表明,饲料中70%左右的氮会以不同的方式进入水体和底泥中。养殖前期(7



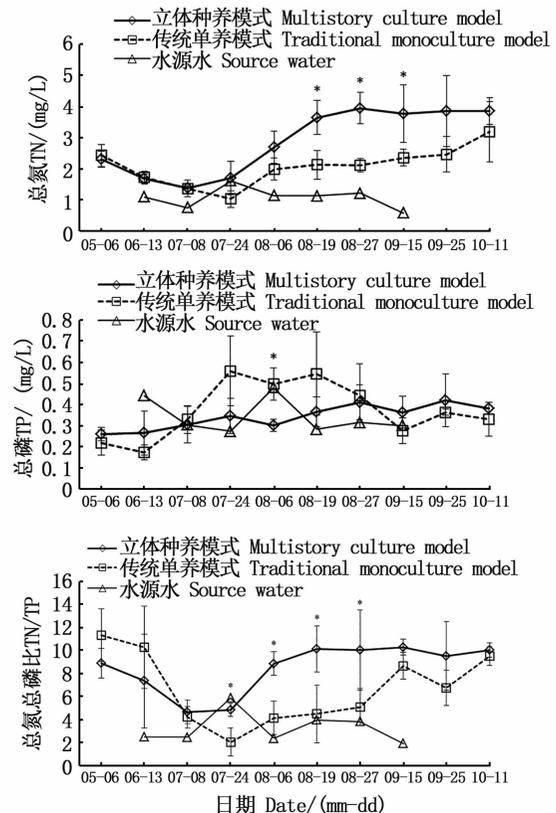
同一日期带 * 的值表示两种模式之间差异显著 ($P < 0.05$)。Mean values on the same date followed by * were significantly different between the two models ($P < 0.05$)。*

图3 不同养殖模式的 TAN、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的变化

Fig.3 Changes of total ammonia nitrogen (TAN), nitrite nitrogen ($\text{NO}_2\text{-N}$), and nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) in various culture models

月8日前),暗纹东方鲀立体种养模式和单养模式的池塘水体中总氮数值相接近且均有一定程度的下降,可能是由于饲料投入还相对较少,饲料的投入造成水体总氮的富集要低于水体中植物(特别是藻类)对氮的吸取;而进入养殖中后期(7月24日—10月11日),随着大量高蛋白含量的饲料投入,水体氮的富集要高于水体中植物(特别是藻类和蔬菜)对氮的吸取,导致两个模式的池塘水体总氮浓度持续走高,其间,立体种养模式的总氮高于传统单养模式,特别是8月19日、8月27日和9月15日总氮数值在两种模式之间产生显著差异($P < 0.05$),造成立体种养模式养殖中后期池塘水体总氮浓度相对较高的原

因:一是饲料投入较多,立体种养模式中,饲料不仅有鱼饲料,还有虾饲料,养殖中后期,每天投入的饲料量比单养模式要多,大量含氮饲料的投入池塘系统,系统中氮富集上升;二是底栖虾类对底泥的翻动,养殖中后期,立体种养模式池塘的虾迅速生长,在池底不断活动,破坏了池底原来的保护膜,虾类对池底的翻动,造成原来沉积在底泥中的残饵及鱼虾粪便等以有机微颗粒的形态释放并悬浮在水体中,水体总氮上升。另外,在整个养殖期间,立体种养和单养模式各时间点的总氮均值分别为 $1.38 \sim 3.96 \text{ mg/L}$ 和 $1.04 \sim 3.20 \text{ mg/L}$,立体种养模式总氮在8月6日之前处于我国水产行业一级排放标准 ($< 3 \text{ mg/L}$)^[14],8月19日—10月11日总氮处于我国二级排放标准 ($< 5 \text{ mg/L}$)^[14]。见图4。



同一日期带 * 的值表示两种模式之间差异显著 ($P < 0.05$)。Mean values on the same date followed by * were significantly different between the two models ($P < 0.05$)。*

图4 不同养殖模式总氮、总磷及氮磷比的变化情况
Fig.4 Changes of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), and TN/TP in various culture models

总磷(TP)也是池塘养殖的主要污染指标,与总氮(TN)类似,总磷的来源主要也是外源水和投入品(如饲料)^[15],磷的去除主要通过植物吸收、微生物降解及物理化学作用来实现的^[16],其中水体中有机磷的去除主要依靠物理化学沉积及微生物降解^[16],而水体中无机磷去除主要途径是植物(特别是藻类和水生植物)的吸收。本研究中,随养殖时间的推移,虽然立体种养模式的总磷变化随饲料投入累计量的增加呈现缓慢平稳上升趋势,但是由于植物、微生物及自由沉降等共同作用,总磷数值总体还较低(0.26~0.42 mg/L),均处于我国水产行业一级排放标准(<0.5 mg/L)以下;而在暗纹东方鲀传统单养模式总磷数值在养殖中期较高,养殖前期后期较低,养殖中期(7月24日—8月19日)总磷的数值为0.50~0.56 mg/L,超过一级排放标准(<0.5 mg/L),处于二级排放标准(<1.0 mg/L)以下,养殖前期(5月6日—7月24日)和后期(5月6日—7月24日)总磷数值为0.18~0.37 mg/L,处于行业一级排放标准(<0.5 mg/L)以下。另外,除了8月6日传统单养模式的总磷显著高($P<0.05$)于立体种养模式外,其他时间点的总磷数值在两个模式之间无显著性差异($P>0.05$)。见图4。造成传统单养模式的总磷数值先上升后下降、然后趋于稳定的现象可能原因如吕元蛟等^[15]所述:一是当池塘水体中活性磷浓度达到一定浓度时,池塘底泥会吸收磷^[17];二是有机物分解产生的腐殖质与铁、铝等形成复合体,增加了无机磷吸附位点^[18]。另外,在养殖中期,立体种养模式总磷低于传统单养模式的原因可能是由于立体种养模式中水体中蕹菜发达根系附着的大量微生物有助于水体中大分子有机磷降解成小分子无机磷,然后被植物吸收利用。

氮磷比(N/P)是近半个世纪的蓝藻优势形成机理的流行学说^[19]:有研究认为低N/P有利于蓝藻形成优势种群^[20];国外研究者因为发现TN/TP<29(质量比)的湖泊水体蓝藻趋于优势,而TN/TP>29时蓝藻趋于减少,从而提出通过管控湖泊水体的N/P抑制蓝藻的暴发^[21];也有国内研究者发现暴发蓝藻的湖泊水体N/P为13~35,而未暴发蓝藻的湖泊水体N/P<13^[22];当然也有很多研究者认为,在氮达到一定浓度后,有时由于磷浓度增加,造成N/P下降,但这不影响蓝

藻的发生^[23-24];另外,也可能是因为蓝藻的暴发,造成了N/P的下降^[25]。本研究中,传统单养模式在养殖早期(5月6日—6月13日)蓝藻水华还没有暴发,此时TN/TP数值维持在10.30~11.33,但随后TN/TP数值迅速下降,然后TN/TP长时间(7月8日—8月27日)处于较低水平(2.07~5.12),蓝藻水华的暴发于7月初,TN/TP的最低点(2.07)出现在7月24日(图4),而叶绿素a的最高点(338.72 μg/L)也出现在7月24日(图2),说明随着蓝藻的发生和暴发,TN/TP有明显的下降,到9月中旬TN/TP上升到8.69,蓝藻开始有些死亡,水体的叶绿素a也下降至163.70 μg/L(图2);而立体种养模式在养殖早期(7月份)TN/TP也有一个下降的过程,7月8日和7月24日的TN/TP为4.69和4.86,然而又迅速上升并维持在10左右,整个养殖期间,立体种养模式池塘没有暴发蓝藻。另外,除了养殖早期(6月13日—7月8日)外,其他时间点的立体种养模式的TN/TP高于传统单养模式的,特别是7月24日至8月27日时间点的TN/TP数值在两种模式之间产生显著性差异($P<0.05$),见图4,这点和叶绿素a的数值相印证,蓝藻多,叶绿素a质量浓度高,TN/TP数值就低,也印证了低TN/TP数值有助于蓝藻发生^[19]。

2.1.4 COD和TSS的变化

在整个养殖过程中,两种养殖模式的COD数值总体处于我国行业一级排放标准(<15 mg/L),除了养殖初期5月6日监测COD数值相对稍高外(立体种养模式14.05 mg/L和单养模式15.03 mg/L),其他监测的时间点两种养殖模式的COD数值相对较稳定均处于10 mg/L以下或附近,均值分别为6.79~10.24 mg/L和6.83~9.15 mg/L,COD数值在两模式间均无显著性差异($P>0.05$,图5)。另外,大多数监测时间点的立体种养模式COD数值均略高于传统种养模式,原因是底栖对虾在池底的搅动,造成沉积在池底的、大量的有机碎屑以微小颗粒释放到水体中。

在整个养殖过程,TSS数值总体较高,特别是6月13日的水源水(154.20 mg/L)、7月24日及8月19日的传统单养模式(186.60 mg/L和181.53 mg/L)和9月15日的立体种养模式(189.87 mg/L)的TSS数值超过150 mg/L。各监测时间点的TSS数值在两种养殖模式之间无显

著性差异(图5)。造成两模式池塘较高的TSS原因是池塘养殖水产动物(特别是底栖虾类)的活动和增氧设备的搅动。

2.2 两种模式养殖池塘水质与水源水比较

对6月13日到9月15日7组的两种养殖模式池塘水质分别与水源水的进行了配对样本 t 检验,暗纹东方鲀两种养殖模式的pH均显著高于水源水($P < 0.05$),见表1和图2。两种养殖模式的氨氮和硝基氮数值均显著低于水源水的($P < 0.05$),两种养殖模式的亚硝基氮数值均略低于水源水($P > 0.05$),见表1和图3;但两种模式的总氮(TN)和COD数值均显著高于水源水($P < 0.05$),然而两种模式的总磷(TP)及TSS与水源水均无显著性差异($P > 0.05$),见表1和图4、5。由此可以说明,暗纹东方鲀的养殖有助于池塘水体的pH、TAN、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 等水质指标的净化,暗纹东方鲀的养殖对水体中总磷(TP)和TSS的影响不明显,但会造成水体中总氮(TN)和COD的升高。

表1 两种养殖模式分别与水源水的水质比较分析

Tab.1 Comparative analysis of water quality between multistory culture model and source water, and between traditional monoculture and source water

$n = 7$

水质指标 Water quality parameters	立体种养模式 Multistory culture model	传统单养模式 Traditional monoculture model	水源水 Source water
pH	8.10 ± 0.10 *	8.20 ± 0.05 *	7.64 ± 0.18
TAN / (mg/L)	0.074 ± 0.046 *	0.107 ± 0.054 *	0.332 ± 0.142
$\text{NO}_2\text{-N}$ / (mg/L)	0.0148 ± 0.0102	0.0344 ± 0.0382	0.1106 ± 0.1251
$\text{NO}_3\text{-N}$ / (mg/L)	0.069 ± 0.033 *	0.187 ± 0.203 *	0.502 ± 0.226
TN / (mg/L)	2.70 ± 1.11 *	1.82 ± 0.47 *	1.09 ± 0.34
TP / (mg/L)	0.339 ± 0.049	0.405 ± 0.147	0.345 ± 0.082
COD / (mg/L)	8.59 ± 0.80 *	7.38 ± 0.45 *	5.88 ± 1.03
TSS / (mg/L)	114.58 ± 39.79	114.81 ± 48.20	118.89 ± 25.27

注:同一水质指标带*的值表示该模式与水源之间差异显著($P < 0.05$)。

Notes: Mean values within a column followed by * were significantly different between this model and source water ($P < 0.05$).

2.3 养殖能效比较

2.3.1 生长性能比较

由图6可知,虽然试验组立体种养模式的暗纹东方鲀放养密度(1.2万尾/ hm^2)低于对照组单养模式(1.5万尾/ hm^2),但两种模式暗纹东方鲀生长没有显著性差异($P > 0.05$),说明放养密度为1.2万~1.5万尾/ hm^2 时,对暗纹东方鲀的生长没有空间胁迫。

暗纹东方鲀立体种养模式下套养的凡纳滨对虾生长性能良好,经过98d的养殖,到8月27日凡纳滨对虾的平均体长、体质量分别为(11.80 ± 0.77)cm和(18.83 ± 3.60)g(图7)。

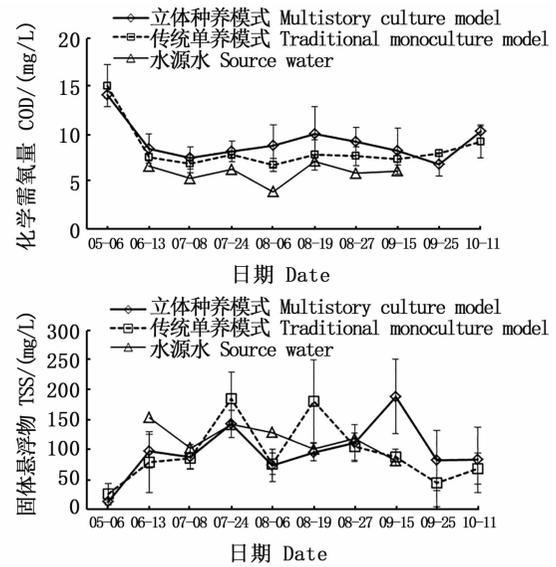


图5 不同养殖模式的COD和TSS的变化情况

Fig.5 Changes of COD and TSS in various culture models

2.3.2 养殖效果比较

到养殖试验结束时,除了试验组立体种养模式暗纹东方鲀的单位产量(3426.0 kg/hm^2)显著低于对照组传统单养的4055.7 kg/hm^2 ($P < 0.05$)外,立体种养和传统单养模式的暗纹东方鲀的出池规格(293.30 g/尾和297.53 g/尾)、成活率(97.38%和94.60%)以及饵料系数(2.83和2.91)均无显著性差异($P > 0.05$)。暗纹东方鲀在立体种养模式下套养的凡纳滨对虾产量3056.6 kg/hm^2 ,规格为22.48 g/尾,存活率为78.17%,饵料系数为0.68,鱼虾叠加后的饲料系数总体为1.39。见表2。

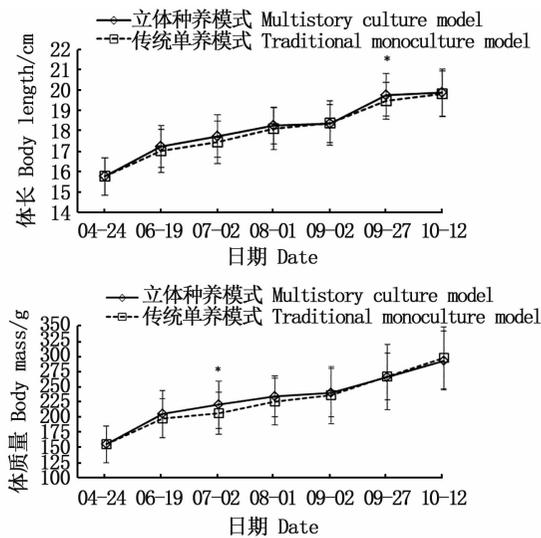


图6 不同养殖模式的暗纹东方鲀生长
Fig. 6 Growth of obscure puffer (*Takifugu obscurus*) in various culture models

2.3.3 养殖效益比较

鱼种 7 元/尾、淡化虾苗 350 元/万尾、鱼料

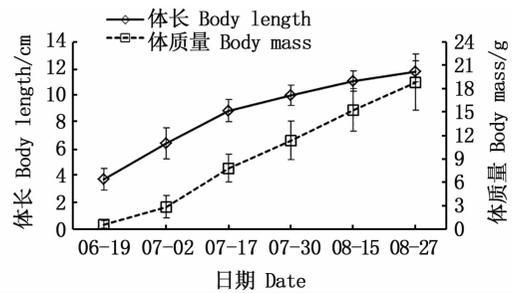


图7 立体种养模式下的凡纳滨对虾生长
Fig. 7 Growth of *Litopenaeus vannamei* in multi-story culture model

10.5 元/kg、虾料 9.3 元/kg, 鱼的实际平均售价 53 元/kg、混养虾的售价为 51 元/kg。相对于传统单养模式, 试验组立体种养模式在养殖尾水排放减少 11.1% 的前提下, 每公顷增效 102 675 元 (表 3), 如果除去养虾收虾增加的人工费约 15 000 元/hm², 每公顷增效 87 675 元, 每 667 m² 增效 5 845 元。

表 2 两种养殖模式的养殖能效比较分析

Tab. 2 Comparative analysis of cultural efficiencies between two culture models

$n = 3$

品种 Species	指标 Indicator	立体种养模式 Multistory culture model	传统单养模式 Traditional monoculture model
暗纹东方鲀 <i>Takifugu obscurus</i>	出池规格/(g/尾)	293.30 ± 15.84	297.53 ± 29.20
	单位产量/(kg/hm ²)	3 426.00 ± 198.80 *	4 055.70 ± 336.30
	成活率/%	97.38 ± 2.31	94.60 ± 3.49
	饵料系数	2.83 ± 0.29	2.91 ± 0.46
凡纳滨对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>	出池规格/(g/尾)	22.48 ± 3.97	-
	单位产量/(kg/hm ²)	3 056.60 ± 605.90	-
	成活率/%	78.17 ± 7.46	-
	饵料系数	0.68 ± 0.09	-

注: 同列中带 * 的值表示两种模式之间差异显著 ($P < 0.05$)。

Notes: Mean values within a column followed by * were significantly different between the two models ($P < 0.05$).

表 3 两种养殖模式下投入产出比较

Tab. 3 Comparative analysis of input-output between two culture models

元/hm²

投入产出 Input-output	项目 Item	立体种养模式 Multistory culture model	传统单养模式 Traditional monoculture model
投入 Input	鱼种	84 000	105 000
	虾苗	6 090	-
	饲料	65 130	51 945
	电	7 500	7 500
	总投入	162 720	164 445
产出 Output	鱼	181 575	236 535
	虾	155 910	-
	总产出	337 485	236 535
	毛收益	174 765	72 090

3 结论

暗纹东方鲀立体种养模式在养殖尾水排放减少 11.1% 的前提下,池塘水体的 pH、TAN、NO₂-N 和 NO₃-N 等水质指标处于理想范围内;立体种养模式的叶绿素 a 质量浓度明显低于传统单养模式。立体种养模式 TN 养殖前期处于一级排放标准,后期处于二级排放标准,TP 均处于一级排放标准。COD 在两模式间无显著性差异,总体处于一级排放标准。TSS 在两模式间无显著性差异,数值总体较高。

两种模式暗纹东方鲀的养殖有助于池塘水体的 pH、TAN、NO₂-N 和 NO₃-N 等水质指标的净化,暗纹东方鲀的养殖对水体中总磷(TP)和 TSS 的影响不明显,但会造成水体中总氮(TN)和 COD 的升高。

立体种养模式和传统单养模式的暗纹东方鲀的生长、成活率以及饵料系数均无显著性差异,放养密度(1.2 万~1.5 万尾/hm²)没有造成暗纹东方鲀生长的空间胁迫。在立体种养模式下套养的凡纳滨对虾生长性能良好,南美对虾产量 3 056.6 kg/hm²,存活率 78.17%,饲料系数为 0.68,鱼虾叠加后的饲料系数总体为 1.39。相对于暗纹东方鲀传统单养模式,立体种养模式在养殖尾水排放减少 11.1% 的前提下,每公顷增效 87 675 元,每 667 m² 增效 5 845 元。

参考文献:

- [1] 施永海,张根玉. 菊黄东方鲀养殖技术[M]. 北京:科学出版社,2017.
SHI Y H, ZHANG G Y. Tawny puffer (*Takifugu flavidus*) aquaculture technique [M]. Beijing: Science Publishing House, 2017.
- [2] SHI Y H, ZHANG G Y, ZHU Y Z, et al. Effects of photoperiod, temperature, and salinity on growth and survival of obscure puffer *Takifugu obscurus* larvae[J]. *Aquaculture*, 2010, 309(1/4): 103-108.
- [3] 马爱军,陆丽君,陈超,等. 东方鲀属主要经济鱼种繁育养殖、育种和基因研究现状[J]. *海洋科学*, 2011, 35(11): 128-133.
MA A J, LU L J, CHEN C, et al. Breeding and genetic research of major economic species of Fugu [J]. *Marine Sciences*, 2011, 35(11): 128-133.
- [4] 江全明,郭晓明,郑丰生,等. 生态农业养殖模式的探索:种养结合、立体养殖、循环利用[J]. *农业工程学报*, 1992, 8(2): 115-116.
- JIANG Q M, GUO X M, ZHENG F S, et al. The exploration of ecological agriculture breeding mode—a combination of farming and aquaculture, stereoscopic culture, cyclic utilization [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 1992, 8(2): 115-116.
- [5] 李文祥,李为,林明利,等. 浮床水蕹菜对养殖水体中营养物的去除效果研究[J]. *环境科学学报*, 2011, 31(8): 1670-1675.
LI W X, LI W, LIN M L, et al. In situ nutrient removal from aquaculture wastewater by the aquatic vegetable *Ipomoea aquatica* on floating beds[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, 31(8): 1670-1675.
- [6] 宋红桥,管崇武,李月,等. 水培植物对循环水养鱼系统的水质净化研究[J]. *渔业现代化*, 2013, 40(4): 18-22.
SONG H Q, GUAN C W, LI Y, et al. Effect of hydroponic plants on water quality purification in a recirculating aquaculture system [J]. *Fishery Modernization*, 2013, 40(4): 18-22.
- [7] 蔡淑芳,陈敏,陈永快,等. 种植密度对鱼菜共生系统氮素转化的影响[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(4): 132-137.
CAI S F, CHEN M, CHEN Y K, et al. Effects of plant density on nitrogen transformation in aquaponics system [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(4): 132-137.
- [8] 国家环境保护总局,《水和废水检测分析方法》编委会. 水和废水检测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002: 200-284.
State Environmental Protection Administration, Editorial Board of Analytical Methods for Water and Wastewater. *Methods for water and wastewater detection and analysis* [M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002: 200-284.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB 17378.4—2007 海洋监测规范第 4 部分:海水分析[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB 17378.4—2007 The specification for marine monitoring - Part 4: seawater analysis [S]. Beijing: China Standards Press, 2008.
- [10] 施永海,张根玉,刘建忠,等. 半咸水人工湿地净化越冬养殖循环水的效果[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(24): 179-187.
SHI Y H, ZHANG G Y, LIU J Z, et al. Effects of purification of recirculating water in over-winter aquaculture in brackish wastewater constructed wetland [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(24): 179-187.
- [11] 施永海,徐嘉波,陆根海,等. 养殖美洲鲈的生长特性[J]. *动物学杂志*, 2017, 52(4): 638-645.
SHI Y H, XU J B, LU G H, et al. Growth characteristics of

- cultured American shad *Alosa sapidissima* [J]. Chinese Journal of Zoology, 2017, 52(4): 638-645.
- [12] LIN Y F, JING S R, LEE D Y, et al. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate [J]. Environmental Pollution, 2005, 134(3): 411-421.
- [13] SHI Y H, ZHANG G Y, LIU J Z, et al. Performance of a constructed wetland in treating brackish wastewater from commercial recirculating and super-intensive shrimp growout systems [J]. Bioresource Technology, 2011, 102(20): 9416-9424.
- [14] SC/T 9101—2007 淡水池塘养殖水排放要求[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2007.
SC/T 9101-2007 Requirement for water discharge from freshwater aquaculture pond[S]. Beijing: The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2007.
- [15] 吕元蛟, 李瑞娇, 张念, 等. 池塘残饵对底泥氮、磷释放影响的模拟研究[J]. 环境科学, 2014, 35(6): 2178-2184.
LYU Y J, LI R J, ZHANG N, et al. Effect of feed residues on the release of nitrogen and phosphorus of pond sediment [J]. Environmental Science, 2014, 35(6): 2178-2184.
- [16] 彭剑峰, 王宝贞, 南军, 等. 多级生态塘/湿地系统底泥中磷的归趋模式[J]. 中国环境科学, 2004, 24(6): 712-716.
PENG J F, WANG B Z, NAN J, et al. Transferring and attribution model of phosphorus in the multi-stage eco-ponds/wetlands system sediment[J]. China Environmental Science, 2004, 24(6): 712-716.
- [17] 徐轶群, 熊慧欣, 赵秀兰. 底泥磷的吸附与释放研究进展[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(11): 147-149.
XU Y Q, XIONG H X, ZHAO X L. Advances of phosphorus absorption and release by sediment [J]. Chongqing Environmental Science, 2003, 25(11): 147-149.
- [18] GERKE J, HERMANN R. Adsorption of orthophosphate to humic-Fe-complexes and to amorphous Fe-oxide [J]. Zeitschrift für Pflanzenernahrung und Bodenkunde, 1992, 155(3): 233-236.
- [19] 许海, 朱广伟, 秦伯强, 等. 氮磷比对水华蓝藻优势形成的影响[J]. 中国环境科学, 2011, 31(10): 1676-1683.
XU H, ZHU G W, QIN B Q, et al. Influence of nitrogen-phosphorus ratio on dominance of Bloom-forming cyanobacteria (*Microcystis aeruginosa*) [J]. China Environmental Science, 2011, 31(10): 1676-1683.
- [20] SCHINDLER D W. Evolution of phosphorus limitation in lakes[J]. Science, 1977, 195(4275): 260-262.
- [21] SMITH V H. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton [J]. Science, 1983, 221(4611): 669-671.
- [22] 唐汇娟. 武汉东湖浮游植物生态学研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2002: 1-99.
TANG H J. Ecological studies on phytoplankton of the shallow, eutrophic Lake Donghu [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Science, 2002: 1-99.
- [23] TRIMBEE A M, PREPAS E E. Evaluation of total phosphorus as a predictor of the relative biomass of blue-green algae with emphasis on Alberta lakes[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1987, 44(7): 1337-1442.
- [24] SCHEFFER M, RINALDI S, GRAGNANI A, et al. On the dominance of filamentous cyanobacteria in shallow, turbid lakes[J]. Ecology, 1997, 78(1): 272-282.
- [25] XIE L Q, XIE P, LI S X, et al. The low TN: TP ratio, a cause or a result of *Microcystis blooms*? [J]. Water Research, 2003, 37(9): 2073-2080.

Comparative analysis of water quality changes and cultural efficiencies between multistory culture model and traditional monoculture model of obscure puffer (*Takifugu obscurus*)

SHI Yonghai, XIE Yongde, XU Jiabo, SHUI Chun, YUAN Xincheng, LIU Yongshi, YANG Ming
(Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai Fisheries Technical Extension Station, Shanghai 200433, China)

Abstract: In order to develop and set up ecological multistory culture pond ecosystem of obscure puffer (*Takifugu obscurus*), *Litopenaeus vannamei*, and *Ipomoea aquatica* Forsk, the differences of the water quality changes and the cultural efficiencies between multistory culture model and traditional monoculture model of obscure puffer were studied. The results showed that the values of water quality parameters of pH, TAN, NO₂-N, and NO₃-N in the pond of multistory culture model and traditional monoculture model of obscure puffer maintained within the ideal range. In these parameters, except that the NO₃-N(0.110 mg/L) of the

multistory culture model on July 8 was significantly lower than the $\text{NO}_3\text{-N}$ (0.630 mg/L) of the traditional monoculture model, there was no significant difference in other parameters between the two models. The *Chl a* of the multistory culture model was significantly lower than that of the traditional monoculture model. The scopes of the average total nitrogen (TN) in two models were 1.38 – 3.96 mg/L and 1.04 – 3.20 mg/L, respectively, in the middle and later periods of the culture (from July 24 to October 11), the TN of the multistory culture model was significantly higher than that of the traditional monoculture model. During the cultural time, the total phosphorus (TP) of the multistory culture model showed a trend of slow rising steadily (0.26 – 0.42 mg/L), while the total phosphorus (TP) of the traditional monoculture model showed a trend of high middle (0.50 – 0.56 mg/L) and low on both sides (0.18 – 0.37 mg/L). Except that the COD value of two models on May 6 is relatively high (the multistory culture model 14.05 mg/L and the traditional monoculture model 15.03 mg/L, respectively), in the other monitoring points in time, COD values are relatively stable, the mean ranges were 6.79 – 10.24 mg/L and 6.83 – 9.15 mg/L, respectively, and there was no significant difference between the two models. Overall, the TSS (total suspended solid) value was higher, especially source water on June 13 (154.20 mg/L), the traditional monoculture model on 24 July and August 19 (186.60 mg/L and 181.53 mg/L, respectively), and the multistory culture model on September 15 (189.87 mg/L), these TSS values were more than 150 mg/L. In each monitoring point in time, there was no significant difference in the TSS between the two models. Obscure puffer culture was advantageous to the purification of pH, TAN, $\text{NO}_2\text{-N}$, and $\text{NO}_3\text{-N}$ in pond water of the two models, and there was no obvious influence on the TP and TSS in pond water, while, it caused the increase of total nitrogen (TN) and COD in pond water. There was no significant difference in growth of obscure puffer between the multistory culture model and the traditional monoculture model, the stocking density (12 000 – 15 000 ind/hm²) of the two models did not cause space stress of obscure puffer growth. Except that the obscure puffer unit yield (3 426.0 kg/hm²) of the multistory culture model was significantly lower than that of the traditional monoculture model (4 055.7 kg/hm²), there was no significant difference in out-pond specification (293.30 g/ind and 297.53 g/ind, respectively), survival rate (97.38 % and 94.60%, respectively), and food coefficient (2.83 and 2.91, respectively) between the two models. *Litopenaeus vannamei* of polyculture in the multistory culture model showed good growth performance: the unit yield of *Litopenaeus vannamei* was 3 056.6 kg/hm², the out-pond specification was 22.48 g/ind, the survival rate was 78.17 %, and the food coefficient 0.68, and the overall superimposed feed coefficient of fish and shrimp was 1.39. Compared with the obscure puffer traditional single model, under the condition of 11.1% reduction in aquaculture tail water discharge, the benefit of the multistory culture model increased by 87 675 yuan per ha.

Key words: obscure puffer (*Takifugu obscurus*); multistory culture model; water quality; breeding efficiency