

文章编号: 1000-0615(2017)01-0099-10

DOI: 10.11964/jfc.20160410375

不同鲤养殖模式生物絮团系统中鱼体的生长及水质

赵志刚, 罗亮, 王常安, 李晋南,
王连生, 都雪, 徐奇友*

(中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070)

摘要: 为了探明不同鲤养殖模式生物絮团系统中鱼体的生长及水质变化情况。采用陆基围隔法, 分别设置了鲤单养、鲤+鳙二元混养及鲤+鳙+鲢三元混养3种鲤养殖模式, 每种模式设3个重复, 测定了鲤不同养殖模式下鱼体的生长及水质参数, 实验共进行90 d。结果显示, 与单养模式相比, 二元混养和三元混养鲤的存活率和鱼体蛋白质效率均显著偏高, 而其总饲料系数则显著偏低。3种养殖模式中鲤肌肉的水分和粗脂肪含量相互之间差异均不显著, 三元混养模式鲤肌肉的粗蛋白和灰分含量均显著高于单养模式。在3种养殖模式生物絮团系统中, 生物絮团形成量与水温之间在19.3~28.5 °C范围内呈显著的正相关。整个实验过程中, 二元混养和三元混养水体的总氮、亚硝酸盐氮、总无机氮、正磷酸盐及总悬浮颗粒物含量均低于单养模式, 而硝酸盐氮、总碱度、有机悬浮颗粒物及叶绿素a含量均高于单养模式, 除叶绿素a之外, 其余水质参数相互之间差异均不显著。研究表明, 与传统的混养系统相似, 在生物絮团养殖系统中, 符合生物学原则的混养模式同样能够有效发挥养殖系统的生态功能, 提高养殖效率。

关键词: 鲤; 碳源; 生长; 水质; 养殖模式

中图分类号: S 965.1

文献标志码: A

传统的以投饵为主的池塘养殖是以不断消耗水资源、土地资源及生物资源为代价开展的^[1]。在池塘养殖过程中, 鱼类仅能同化饲料氮的15%~30%, 其余氮全部以粪便、氨氮等形式排放到水体当中^[2-4]。养殖水体中氮素的大量积累导致水质恶化, 同时大量换水致使营养物质流失, 并对周边环境造成污染^[5], 严重阻碍了水产养殖的可持续健康发展^[6]。生物絮团技术作为一项新型的生态养殖技术可以有效解决池塘集约化养殖过程中的这些问题^[7-10]。目前, 已针对生物絮团技术在水产养殖过程中的作用开展了较多研究^[11-14], 而其养殖模式大多是以单养方式进行。相关研究表明, 在同一水体中不同食性和生态位的养殖动物混养不仅可以有效提高饲料利用率, 还能够充分发挥其生态功能, 保持生态系统的相对稳定^[15-16]。

鲤(*Cyprinus carpio*)是我国重要的淡水养殖品种之一, 其产量在我国池塘养殖中占较大比重, 在我国人民的食物结构中占有十分重要的位置。本团队分别以鲤单养模式和混养模式为研究对象, 阐释添加碳源后不同养殖模式水体中生物絮团的形成过程, 以及添加碳源对养殖水体水质理化因子和养殖鱼类生长的影响, 并对不同鱼种搭配模式的养殖效果进行评价, 旨在为大宗淡水鱼类池塘生态养殖模式的构建提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验在中国水产科学研究院黑龙江水产研

收稿日期: 2016-04-23 修回日期: 2016-10-08

资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46); 国家科技支撑计划(2012BAD25B00); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(HSY201407)

通信作者: 徐奇友, E-mail: xuqiyu@sina.com

究所哈尔滨市呼兰综合试验站进行。实验围隔建于面积0.4 hm²、平均水深1.5 m的淡水池塘中,每个围隔面积为49 m²(7 m×7 m),围隔结构参见相关文献^[17-18]。每个围隔中设置直径1 m的微孔增氧盘2个,沉于距池底20~30 cm的位置,微孔增氧管通过PVC管道与池塘岸边5.5 kW的罗茨鼓风机相连,连续充气。实验用松浦镜鲤(*C. carpio specularis* Songpu)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)和鳙(*Aristichthys nobilis*)鱼种均来自中国水产科学研究院黑龙江水产研究所培养。

1.2 实验设计

分别设置鲤单养、鲤+鳙二元混养、鲤+鳙+鲢三元混养3种鲤养殖模式。每种模式设3个重复,共9个围隔。所有围隔完全随机排布。以淀粉为添加碳源,于早晨投饵后1 h,称取所需碳源添加量与养殖水体混合,搅拌并充分溶解后撒入水体中。碳源的添加量根据饲料和碳源的总碳氮比为15计算所得。鱼种具体放养规格见表1,各鱼种于2013年6月17日放入围隔,碳源添加时间为2013年7月9日,鱼体收获时间为2013年9月15日。

实验过程中投喂鲤商品配合饲料,粗蛋白含量为31.30%±0.53%,粗脂肪为7.07%±0.22%,灰分为9.61%±0.18%(均以干物质计算)。每天分别于7:30、13:00和17:30投喂。日投饵量为鲤生物量的1.5%~2.0%,鲤生物量根据每个月采样鱼体的平均体质量及鲤的实际存活数目而定。整

个实验期间不换水,只补充因渗漏、蒸发及采样而丢失的水量。整个实验过程中不添加任何药物。

1.3 指标测定

温度、pH、溶解氧(DO)、总氨氮(TAN)和硝酸态氮(NO₃-N)用YSI Professional Plus型水质分析仪于现场测定,测定时间为上午9:30—10:00;亚硝酸态氮(NO₂-N)、正磷酸盐(PO₄-P)、总磷(TP)、化学需氧量(COD)、总碱度、叶绿素 a 根据相应的水环境监测方法测定^[19];水体的生物絮团量采用Imhoff锥形管^[11]测定;生物絮团颗粒粒径通过显微镜测定。总无机氮(TIN)为TAN、NO₃-N及NO₂-N之和。水质指标每2周测定1次。

总悬浮颗粒物(TSS)测定:取一定量实验水样,过滤在直径为47 mm的Whatman GF/F玻璃纤维滤膜(预先经450 °C灼烧2 h以去除滤膜中有机质)上,将截留有悬浮物的滤膜在60 °C下烘干,称量干重。再将烘干样经550 °C灼烧2 h,冷却后再称量灼烧后的灰分重,据空白滤膜重、样品滤膜烘干重、灼烧减重及过滤水样体积计算水样中有机悬浮颗粒物(TSO)的浓度。

鱼体肌肉样品中的水分、粗蛋白、粗脂肪及灰分采用标准方法进行测定^[20]。

成活率(SR),特定生长率(SGR),鲤饲料系数(FCR),总饲料系数(TFCR),蛋白质效率(PER),净产量(NP),总净产量(TNP)及总产量(TP)通过以下关系式进行计算:

表1 各处理组鱼体的放养及生长参数

Tab. 1 Initial mean individual weight and growth performance of fish in three treatments

模式 mode	鱼种 fish species	放养规格/(g/尾) initial mean individual weight	放养密度/(g/m ²) initial mean density	收获规格/(g/尾) final mean individual weight	特定生长率/(%/d) specific growth rate	成活率/% survival rate	净产量/(kg/hm ²) net production
单养 monoculture	鲤 <i>C. carpio</i>	706.67±12.03	963.95±15.96	1187.87±20.08	0.61±0.01	91.49±2.67 ^a	6240.27±111.38
二元混养 two species polyculture	鲤 <i>C. carpio</i>	690.77±16.40	789.46±18.74	1167.34±87.80	0.61±0.07	99.40±0.60 ^b	5377.57±908.10
	鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	319.44±9.49	195.58±5.81	398.71±28.62	0.26±0.06	97.78±2.22	485.11±128.73
三元混养 three species polyculture	鲤 <i>C. carpio</i>	690.48±17.50	789.12±20.00	1188.46±18.06	0.64±0.04	98.81±0.60 ^b	5702.48±335.39
	鳙 <i>A. nobilis</i>	344.44±6.19	100.44±1.89	466.98±14.85	0.36±0.05	100.00±0.00	375.11±58.87
	鲢 <i>H. molitrix</i>	364.10±2.56	96.60±0.68	589.79±1.92	0.57±0.01	100.00±0.00	598.76±3.77

注:表中每个数值均以平均值±标准误(n=3)表示,同列中肩标不同小写字母表示差异显著(P<0.05),下同

Notes: each value represents mean±SE (n=3), in the same line, values with different small letter superscript mean significant difference (P<0.05), the same below

$$SR (\%) = (N_f/N_i) \times 100$$

$$SGR (\%/d) = [\ln(W_f) - \ln(W_i)]/T \times 100$$

$$NP (\text{kg}/\text{hm}^2) = (W_f \times N_f - W_i \times N_i)/49 \times 10\ 000$$

$$TP (\text{kg}/\text{hm}^2) = (W_f \times N_f)/49 \times 10\ 000$$

式中, N_f (尾)和 N_i (尾)分别为鱼体终末数量和初始数量, W_f (g)和 W_i (g)分别为鱼体终末体质量和初始体质量, T 为实验时间。

$$FCR = F_w/(W_{t1} - W_{01})$$

$$TFCR = F_w/(W_t - W_0)$$

$$PER = (W_t - W_0)/F_p$$

式中, F_w (kg)为饲料投喂量, F_p (kg)为饲料蛋白质投喂量, W_{t1} (kg)和 W_{01} (kg)分别为鲤终末总重和鲤初始总重, W_t (kg)和 W_0 (kg)分别为总鱼体终末总重和总鱼体初始总重。

1.4 统计分析

采用SPSS 17.0软件包对数据进行统计分析。对数据进行单因素方差分析, 并进行Duncan氏多重比较, 以 $P < 0.05$ 作为差异显著的标志。

2 结果

2.1 鱼体生长参数及产量

与单养模式相比, 二元混养和三元混养模式鲤的特定生长率和净产量差异均不显著($P > 0.05$), 而其成活率则显著偏高($P < 0.05$)(表1)。三元混养模式中鱼体的总产量和总净产量均高于单养模式和二元混养模式, 但均未达到显著水平($P > 0.05$)

(表2)。与单养模式相比, 二元混养和三元混养模式鱼体的蛋白质效率显著偏高($P < 0.05$), 增长率分别为30.1%和36.1%, 而其总饲料系数则显著偏低($P < 0.05$), 下降率分别为22.7%和26.3%。

2.2 肌肉组成

三种养殖模式中鲤肌肉的水分和粗脂肪含量相互之间差异均不显著($P > 0.05$), 与单养模式相比, 三元混养模式中鲤肌肉的粗蛋白和灰分含量显著偏高($P < 0.05$)(表3)。

2.3 生物絮团

随着碳源的不断添加, 各组水体生物絮团的量均显著升高($P < 0.05$), 在养殖后期, 随着水温的不断下降, 水体生物絮团量逐渐减少, 实验结束时各组生物絮团的量均降到最低值(图1)。在整个实验过程中, 生物絮团形成量在各组之间差异均不显著($P > 0.05$)。经回归分析, 在不同养殖模式的生物絮团系统中, 生物絮团形成量与水温在19.3~28.5 °C呈显著的正相关($P < 0.01$)(图2)。

经显微镜镜检观察, 各组水体生物絮团的结构组成均为细菌、藻类、原生动物、有机悬浮物及杂质等; 经显微观察, 不同养殖模式水体形成的生物絮团, 其形态特征均为不规则絮团状, 直径为20 μm~3 mm。

2.4 水环境因子

在整个实验过程中, 3个处理组的DO值均保持在7 mg/L以上, pH值在8.0左右, 其中二元

表 2 各处理组的产量及饲料利用

Tab. 2 Production and feed utilization of fish in three treatments

模式 mode	总产量/(kg/hm ²) total production	总净产量/(kg/hm ²) total net production	蛋白质效率 protein efficiency ratio	鲤饲料系数 carp feed conversion rate	总饲料系数 total feed conversion rate
单养 monoculture	15 879.73±258.72	6240.27±111.38	1.33±0.02 ^a	2.51±0.04	2.51±0.04 ^b
二元混养 two species polyculture	15 713.02±891.71	5862.68±785.54	1.73±0.12 ^b	2.19±0.22	1.94±0.12 ^a
三元混养 three species polyculture	16 587.91±191.46	6676.35±366.27	1.81±0.1 ^b	2.17±0.13	1.85±0.11 ^a

表 3 不同养殖模式下鲤的肌肉组成

Tab. 3 Proximate muscle composition of *C. carpio* in three treatments at the end of experiment

模式 mode	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude fat	灰分 ash
单养 monoculture	75.66±0.32	64.80±1.17 ^a	17.75±1.49	4.83±0.12 ^a
二元混养 two species polyculture	76.12±0.29	67.22±2.16 ^{ab}	16.82±0.15	5.03±0.11 ^{ab}
三元混养 three species polyculture	75.93±0.43	70.55±0.80 ^b	17.18±1.12	5.99±0.42 ^b

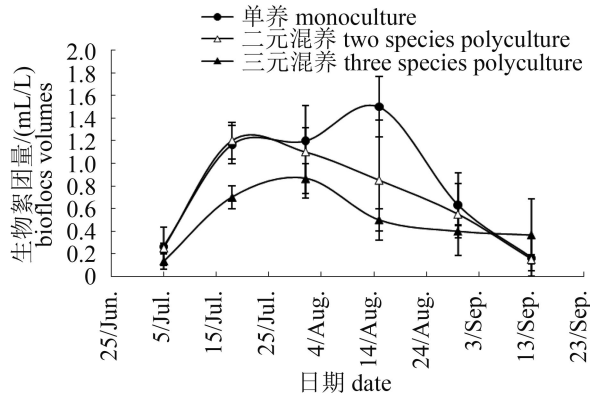


图 1 实验期间各处理组水体生物絮团量变化

图中每个数值均以平均值±标准误(n=3)表示, 下同

Fig. 1 Changes of bioflocs volume (BFV) in three treatments during the experiment

Values are mean±SE of three replicate enclosures per sampling time in each treatment, the same below

混养和三元混养模式水体的 TAN、NO₂-N、TIN、PO₄-P 及 TSS 均低于单养模式, 而其 NO₃-N、总碱度及 TSO 均高于单养模式, 但其差异相互之间均不显著 ($P>0.05$) (表 4)。二元混养和三元混养模式水体的叶绿素 *a* 含量显著高于单养模式 ($P<0.05$)。

整个实验过程中, 各处理组水体温度从实验开始时的 23.5 °C 逐渐上升到 28.5 °C, 随后逐渐

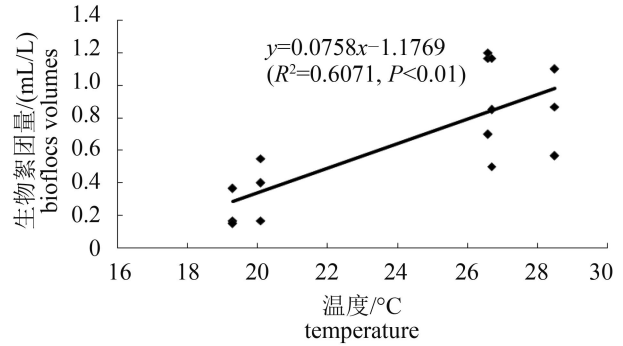


图 2 实验期间水体生物絮团量与水温的关系

Fig. 2 The relationships between the bioflocs volumes (BFV) and temperature during the experiment

下降, 直至降至实验结束时的 19.3 °C (图 3)。各组水体的 pH 值与水温的变化呈相反趋势 (图 4)。

在添加碳源 9 d 后, 3 种养殖模式水体的 TAN 含量均显著降低 ($P<0.05$), 当降低至 1 mg/L 左右时, 其变化趋势逐渐趋于平稳 (图 5)。而 3 组水体 NO₂-N 含量随着碳源的添加, 整体呈显著降低的趋势 ($P<0.05$), 在实验结束时均降至最低值 (图 6)。

各组水体的 NO₃-N 含量在添加碳源 9 d 后显著升高, 随后显著降低 ($P<0.05$), 在降低至 3 mg/L 左右时趋于平稳 (图 7)。而 TIN 含量在降低至 4 mg/L 左右时逐渐趋于平稳 (图 8)。

表 4 实验期间各处理组的水质参数

Tab. 4 Water quality parameters in three treatments during the experiment

水质参数 water quality parameters	单养 monoculture	二元混养 two species polyculture	三元混养 three species polyculture
溶解氧/(mg/L) DO	7.11±0.30	7.77±0.38	7.15±0.20
pH	7.96±0.04	8.03±0.01	7.98±0.03
总氮/(mg/L) TAN	1.57±0.11	1.45±0.01	1.39±0.12
硝酸态氮/(mg/L) NO ₃ -N	3.08±0.42	3.09±0.29	3.25±0.09
亚硝酸态氮/(mg/L) NO ₂ -N	0.16±0.02	0.13±0.01	0.15±0.02
总无机氮/(mg/L) TIN	4.81±0.47	4.67±0.32	4.79±0.17
正磷酸盐/(mg/L) PO ₄ -P	0.14±0.02	0.12±0.01	0.12±0.01
总磷/(mg/L) TP	1.09±0.04	1.12±0.07	1.07±0.05
化学需氧量/(mg/L) COD	12.58±0.25	12.18±0.29	12.58±0.37
叶绿素 <i>a</i> /(μg/L) Chl. <i>a</i>	0.03±0.00 ^a	0.05±0.01 ^b	0.05±0.00 ^b
总碱度/(mmol/L) total alkalinity	5.38±0.29	5.40±0.62	5.39±0.30
总悬浮颗粒物/(mg/L) TSS	299.93±40.17	278.89±75.93	236.90±23.99
有机悬浮颗粒物/(mg/L) TSO	52.5±2.40	54.78±0.73	53.82±3.19

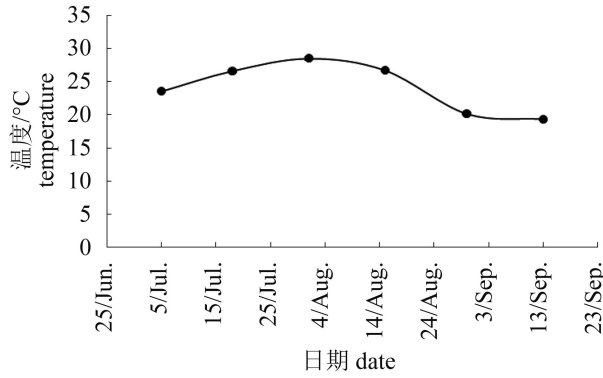


图 3 实验期间各处理组水温变化

Fig. 3 Changes of water temperature during the experiment

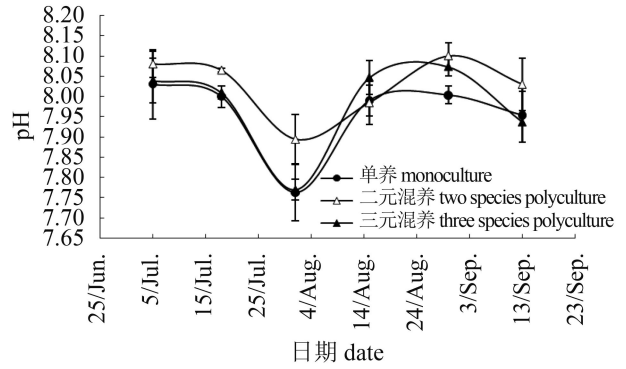


图 4 实验期间各处理组水体pH值变化

Fig. 4 Changes of pH in three treatments during the experiment

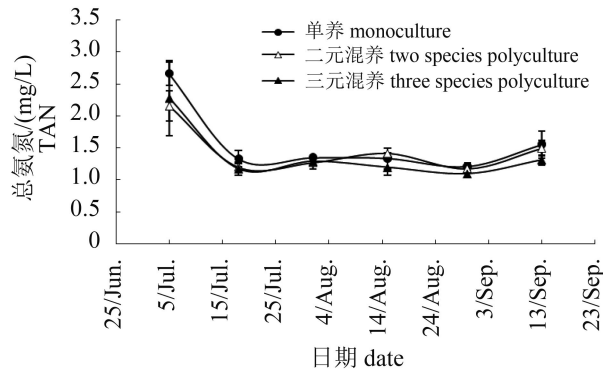


图 5 实验期间各处理组水体总氨氮变化

Fig. 5 Changes of total ammonia nitrogen (TAN) in three treatments during the experiment

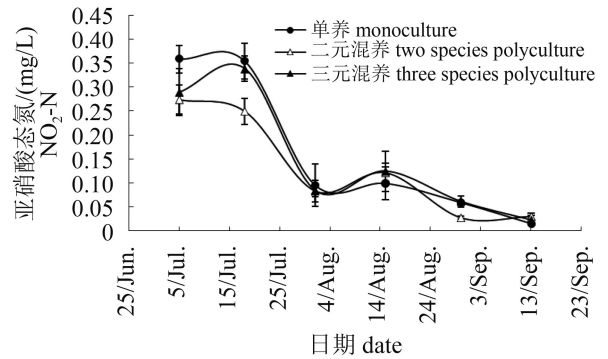


图 6 实验期间各处理组水体亚硝酸态氮变化

Fig. 6 Changes of nitrite nitrogen (NO₂-N) in three treatments during the experiment

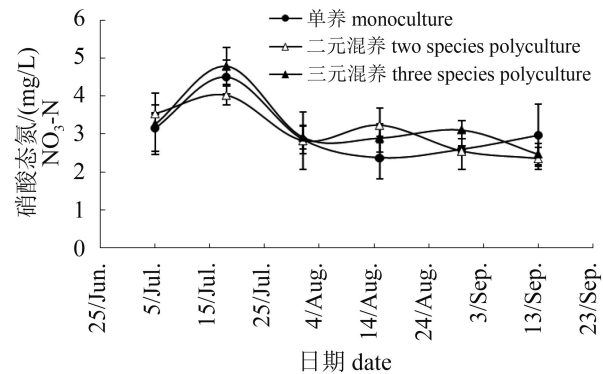


图 7 实验期间各处理组水体硝酸态氮变化

Fig. 7 Changes of nitrate nitrogen (NO₃-N) in three treatments during the experiment

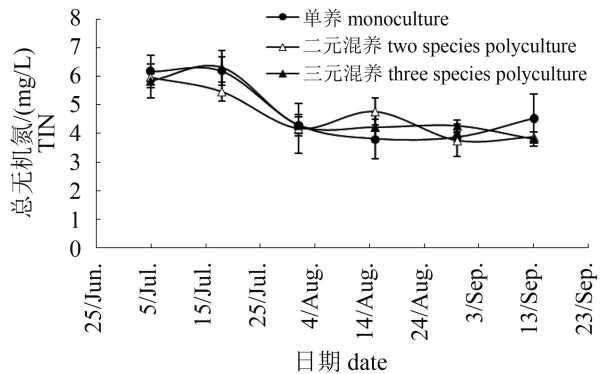


图 8 实验期间各处理组水体总无机氮变化

Fig. 8 Changes of total inorganic nitrogen (TIN) in three treatments during the experiment

各组水体的PO₄-P含量随着碳源的添加均呈显著下降趋势($P < 0.05$), 当降低至0.1 mg/L左右时变化趋势逐渐趋于平缓(图9), 而各组水体TP含量在整个实验过程中变化趋势不显著($P > 0.05$)(图10)。

各组水体的COD值在整个实验过程中缓慢上升, 但上升差异程度均不显著($P > 0.05$)(图11)。各组水体的总碱度呈先下降后上升的趋势, 而在整个变化过程中差异均不显著($P > 0.05$)(图12)。

各组水体的TSS含量随水温的升降呈显著的

升降变化($P < 0.05$)(图13), 而各处理组水体TSO含量在整个实验过程中变化差异均不显著($P > 0.05$)(图14)。

二元混养和三元混养组水体叶绿素a含量在

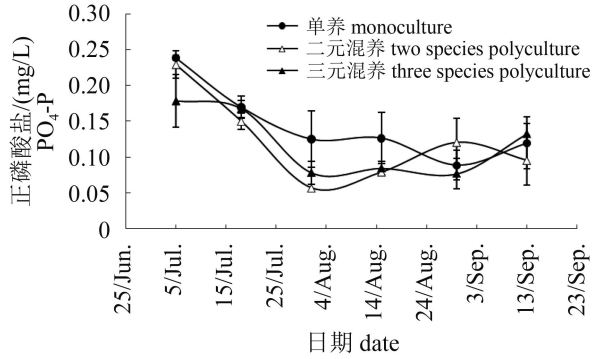


图9 实验期间各处理组水体正磷酸盐变化

Fig. 9 Changes of orthophosphate (PO₄-P) in three treatments during the experiment

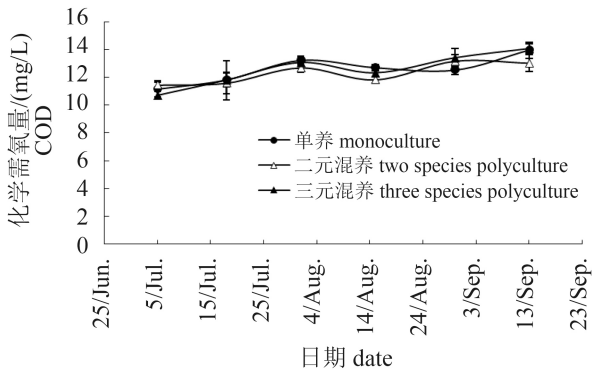


图11 实验期间各处理组水体化学需氧量变化

Fig. 11 Changes of chemical oxygen demand (COD) in three treatments during the experiment

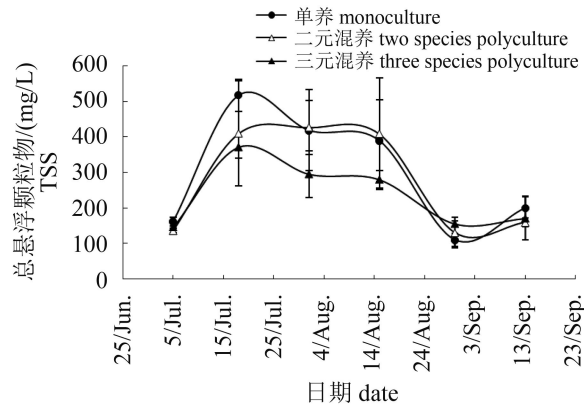


图13 实验期间各处理组水体总悬浮颗粒物变化

Fig. 13 Changes of total suspended solids (TSS) in three treatments during the experiment

整个养殖过程中呈显著上升趋势($P < 0.05$), 而单养组水体叶绿素a含量的上升趋势不显著($P > 0.05$)(图15)。

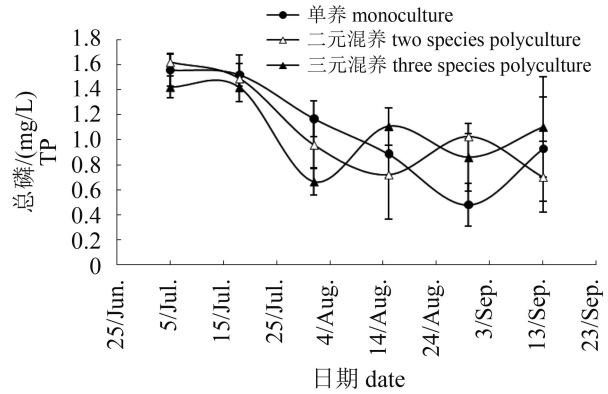


图10 实验期间各处理组水体总磷变化

Fig. 10 Changes of total phosphorus (TP) in three treatments during the experiment

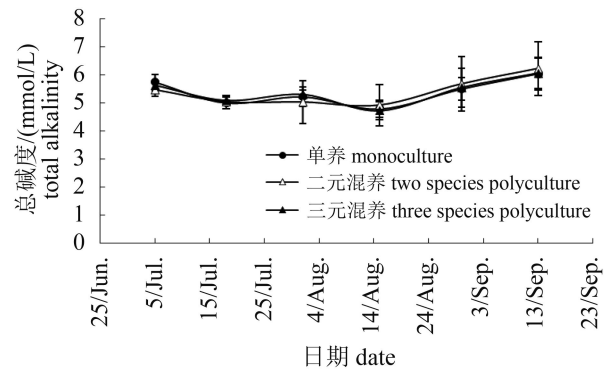


图12 实验期间各处理组水体总碱度变化

Fig. 12 Changes of total alkalinity in three treatments during the experiment

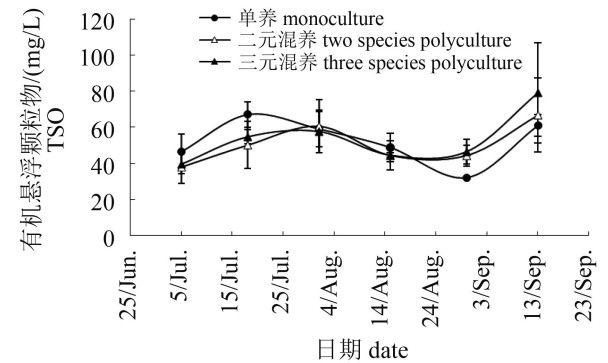


图14 实验期间各处理组水体有机悬浮颗粒物变化

Fig. 14 Changes of total suspended organics (TSO) in three treatments during the experiment

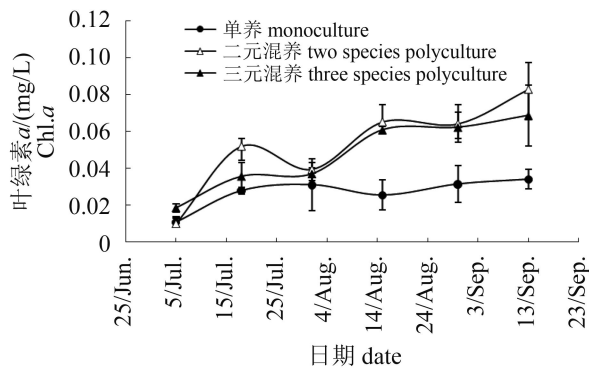


图 15 实验期间各处理组水体叶绿素 a 变化

Fig. 15 Changes of Chl. a in three treatments during the experiment

3 讨论

在生物絮团技术养殖系统中, 通过人为添加碳源调节水体 C/N 比, 促进水环境中异养细菌的大量繁殖, 利用细菌同化无机氮, 将水体中氨氮等有害氮源转化成菌体蛋白, 并且通过细菌絮凝成生物絮团, 被养殖鱼类摄食, 使排放到水体中的氮又被重新利用^[21-23]。正常情况下, 在生物絮团技术养殖系统中影响鱼体摄食生物絮团的一个重要因素取决于其粒径的大小^[24]。在该系统中, 微生物与其他生物或非生物颗粒物经过絮凝作用逐渐形成较大的微生物团块^[25-26], 可有效增加其对鱼类的可食性。本实验结果显示, 在不同养殖模式系统中添加碳源均可有效促进水体中生物絮团的形成, 通过镜检观测不同养殖模式中生物絮团粒径为 20 μm ~ 3 mm, 该粒径正处于鲢、鳙的可滤食食物粒径范围之内^[27]。本实验结果显示, 二元混养和三元混养组鱼体的饲料蛋白质效率显著高于单养组, 而总饲料系数则显著低于单养组, 表明二元混养和三元混养组中鲢、鳙均能有效摄食并同化养殖系统中的生物絮团, 进一步增加了养殖鱼体对饲料的利用率。二元混养和三元混养组中生物絮团形成量没有显著降低的主要原因可能是搭配鲢、鳙的放养比例较低, 不足以显著影响养殖系统内生物絮团的形成量, 在实际生产过程中可适当考虑增加鲢、鳙的放养比例。本实验中, 鲤的特定生长率在 3 种养殖模式中相互之间没有表现出显著差异, 但其肌肉生化组成差异显著。三元混养模式鲤肌肉的粗蛋白和灰分含量显著高于单养模式, 表明在生物絮团系统中, 三元

混养模式中鲤对饲料蛋白的同化效率更高。

在土著池塘中, 各种土著微生物均能够利用有机碳和无机氮合成自身菌体蛋白^[28]。本研究中, 不同养殖模式围隔水体的总氨氮、亚硝酸盐氮、正磷酸盐浓度均随着碳源的添加显著降低, 而水体化学需氧量并未随着碳源的增加显著升高, 表明系统中的 C、N、P 均能够被异养微生物有效利用。温度是微生物生长代谢过程中的一个非常重要的环境因子。研究表明 18~25 °C 是形成生物絮团的最适温度范围^[29-30]。在本实验水温下降过程中, 各组水体生物絮团的形成量与温度之间呈显著的正相关, 这可能与生物絮团中各生物类群的有效增殖与温度的相关性有关。

在高密度养殖过程中, 水体中氨态氮的积累对鱼体的危害较大。通常情况下, 养殖水体中的藻类、硝化细菌及异养细菌均能够有效吸收和转化氨态氮^[31]。本实验结果证明了以上三种吸收和转化氨态氮的途径同时存在于生物絮团系统中。研究表明, 当水体中有机碳含量充足时, 系统中的异养细菌会优先利用氨态氮合成菌体蛋白, 只有当有机碳含量不足时, 硝化细菌才会发挥主要作用^[24, 32]。通过添加碳源促进养殖系统中异养细菌的大量繁殖, 以此来抑制自养细菌和藻类的过度繁殖也是生物絮团养殖系统的主要目的之一。本实验中, 单养模式水体中叶绿素 a 的含量显著低于二元混养和三元混养模式, 可能与单养模式中投入更多的碳源和饲料, 导致更多生物絮团的形成, 从而抑制了系统中藻类的繁殖有关。

研究表明^[30], 在异养细菌生长代谢过程中, 每同化 1 g 氨态氮, 需消耗 4.71 g 溶解氧, 3.57 g 碱度及 15.17 g 碳水化合物, 同时产生 8.07 g 菌体生物量以及 9.65 g 二氧化碳, 在此过程中, 水体的碱度趋于降低。同时, 根据酸碱平衡原理 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \leftrightarrow 2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ ^[33], 水体的 pH 也趋于降低。而在本研究中, 各组水体的总碱度和 pH 值在实验过程中表现较为平稳, 并未出现下降趋势, 表明在室外土著池塘生物絮团系统中, 养殖系统水体对酸碱的缓冲性较强, 系统中的物质和能量相互之间可能存在着复杂的转化和平衡过程。养殖池塘作为一个人工生态系统, 其中各群落之间及其与环境之间都存在着相互联系、相互制约的关系。本研究表明,

与传统的混养系统相似, 在生物絮团养殖系统中, 符合生物学原则的混养模式同样能够有效发挥养殖系统的生态功能, 提高养殖效率。

参考文献:

- [1] 戈贤平. 大宗淡水鱼高效养殖模式攻略[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
Ge X P. High Efficiency Aquaculture Mode for Conventional Freshwater Fish[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015(in Chinese).
- [2] Avnimelech Y, Lacher M. A tentative nutrient balance for intensive fish ponds[J]. *Bamidgeh*, 1979, 31: 3-8.
- [3] Boyd C E. Chemical budgets for channel catfish ponds[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1985, 114(2): 291-298.
- [4] Avnimelech Y, Ritvo G. Shrimp and fish pond soils: Processes and management[J]. *Aquaculture*, 2003, 220(1-4): 549-567.
- [5] Thompson F L, Abreu P C, Wasielesky W. Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture[J]. *Aquaculture*, 2002, 203(3-4): 263-278.
- [6] 戈贤平, 缪凌鸿. 我国大宗淡水鱼产业发展现状与体系研究进展[J]. *中国渔业质量与标准*, 2011, 1(3): 22-31.
Ge X P, Miu L H. Current state and development suggestion on national conventional freshwater fishery industry[J]. *Chinese Fishery Quality and Standards*, 2011, 1(3): 22-31(in Chinese).
- [7] Avnimelech Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds[J]. *Aquaculture*, 2007, 264(1-4): 140-147.
- [8] De Schryver P, Crab R, Defoirdt T, *et al.* the basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture[J]. *Aquaculture*, 2008, 277(3-4): 125-137.
- [9] Ballester E L C, Abreu P C, Cavalli R O, *et al.* Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010, 16(2): 163-172.
- [10] Furtado P S, Poersch L H, Wasielesky J W W. Effect of calcium hydroxide, carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bio-flocs technology (BFT) systems[J]. *Aquaculture*, 2011, 321(1-2): 130-135.
- [11] Avnimelech Y, Kochba K. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using ¹⁵N tracing[J]. *Aquaculture*, 2009, 287(1-2): 163-168.
- [12] Panjaitan P. Field and laboratory study of *Penaeus monodon* culture with zero water exchange and limited water exchange model using molasses as a carbon source[D]. Darwin NT: Charles Darwin University, 2004.
- [13] Crab R, Kochva M, Verstraete W, *et al.* Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia[J]. *Aquacultural Engineering*, 2009, 40(3): 105-112.
- [14] Kuhn D D, Lawrence A L, Boardman G D, *et al.* Evaluation of two types of bioflocs derived from biological treatment of fish effluent as feed ingredients for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. *Aquaculture*, 2010, 303(1-4): 28-33.
- [15] Rahman M M, Nagelkerke L A J, Verdegem M C J, *et al.* Relationships among water quality, food resources, fish diet and fish growth in polyculture ponds: a multivariate approach[J]. *Aquaculture*, 2008, 275(1-4): 108-115.
- [16] 董双林. 中国综合水产养殖的生态学基础[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
Dong S L. Ecological Foundation of Integrated Aquaculture in China[M]. Beijing: Science Press, 2015(in Chinese).
- [17] 李德尚, 杨红生, 王吉桥, 等. 一种池塘陆基实验围隔[J]. *青岛海洋大学学报*, 1998, 28(2): 199-204.
Li D S, Yang H S, Wang J Q, *et al.* A device of land-based experimental enclosure used in ponds[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1998, 28(2): 199-204(in Chinese).
- [18] Wang J Q, Li D S, Dong S L, *et al.* Experimental studies on polyculture in closed shrimp ponds: I. Intensive polyculture of Chinese shrimp (*Penaeus chinensis*) with tilapia hybrids[J]. *Aquaculture*, 1998, 163(1-2): 11-27.
- [19] APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater[M]. 20th ed. Washington D C.: American Public Health Association, 1998.
- [20] AOAC. Official Methods of Analysis[M]. 15th ed. Washington D C.: AOAC International, 1990.
- [21] Avnimelech A, Mokady S, Schroeder G L. Circulated

- ponds as efficient bioreactors for single-cell protein production[J]. *Bamidgeh*, 1989, 41(2): 58-66.
- [22] McIntosh P R. Changing paradigms in shrimp farming: IV. Low protein feeds and feeding strategies. *Global Aquaculture shrimp (Litopenaeus vannamei) nutrition in a high-intensity, zero exchange system*[J]. *Aquaculture*, 2000, 232: 525-537.
- [23] Velasco M, Lawrence A L, Neill W H. Development of a static-water ecoassay with microcosm tanks for postlarval *Penaeus vannamei*[J]. *Aquaculture*, 1998, 161(1-4): 79-87.
- [24] 赵志刚, 徐奇友, 罗亮, 等. 添加碳源对松浦镜鲤养殖池塘鱼体生长及水质影响[J]. *东北农业大学学报*, 2013, 44(9): 105-112.
Zhao Z G, Xu Q Y, Luo L, *et al.* Effect of adding carbon source on growth of fish and water quality in Songpu mirror Carp (*Cyprinus specularis* Songpu) pond[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2013, 44(9): 105-112(in Chinese).
- [25] Harris R H, Mitchell R. The role of polymers in microbial aggregation[J]. *Annual Review of Microbiology*, 1973, 27: 27-50.
- [26] Avnimelech Y, Troeger B W, Reed L W. Mutual flocculation of algae and clay: evidence and implications[J]. *Science*, 1982, 216(4541): 63-65.
- [27] 刘焕亮, 黄樟翰. 中国水产养殖学[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- Liu H L, Huang Z H. *Aquaculture in China*[M]. Beijing: Science Press, 2008(in Chinese).
- [28] Avnimelech Y. *Biofloc Technology-A Practical Guide Book*[M]. 2nd ed. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2012.
- [29] Wilén B M, Balmér P. The effect of dissolved oxygen concentration on the structure, size and size distribution of activated sludge flocs[J]. *Water Research*, 1999, 33(2): 391-400.
- [30] Yang S F, Li X Y. Influences of extracellular polymeric substances (EPS) on the characteristics of activated sludge under non-steady-state conditions[J]. *Process Biochemistry*, 2009, 44(1): 91-96.
- [31] Zhao Z G, Xu Q Y, Luo L, *et al.* Effect of feed C/N ratio promoted bioflocs on water quality and production performance of bottom and filter feeder carp in minimum-water exchanged pond polyculture system[J]. *Aquaculture*, 2014, 434: 442-448.
- [32] 罗亮, 张家松, 李卓佳. 生物絮团技术特点及其在对虾养殖中的应用[J]. *水生态学杂志*, 2011, 32(5): 129-133.
Luo L, Zhang J S, Li Z J. Characteristics of bio-flocs technology and its further application in shrimp culture[J]. *Journal of Hydroecology*, 2011, 32(5): 129-133(in Chinese).
- [33] Barbieri R C J, Ostrensky A. *Camarões Marinhas-Engorda*[M]. Viçosa: Aprenda Fácil, 2012: 370.

Fish growth performance and water quality in different carp stocking modes biofloc systems

ZHAO Zhigang, LUO Liang, WANG Chang'an, LI Jinnan,
WANG Liansheng, DU Xue, XU Qiyou*

(Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China)

Abstract: The bioflocs can be used as an addition of high value feed by fish or shrimp. Water quality can be improved, and pathogenic bacteria can be controlled, thereby reducing the potential spread of diseases, and feed conversion ratio can be reduced in biofloc technology systems. Mirror carp, *Cyprinus carpio*, as a bottom fish, are popular with culturists because of its ease of breeding, fast growth, and tolerance to wide range of environmental conditions and resistance to diseases. The species is also ideal for use in polyculture systems because of its mild behavior and broad diet. Similarly, silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and bighead carp (*Aristichthys nobilis*), are the typical filter-feeding fish, which have drawn much attention worldwide because of their importance as aquaculture species as well as their potential for the biomanipulation of plankton communities. The multitrophic approach of combining species with different specific feeding niches maximizes resource utilization more efficiently than monoculture. However, there is little documentation on practicability of using biofloc technology for bottom and filter feeding carp in minimum water exchange pond polyculture systems. Therefore, a 90-day experiment was conducted to examine the effects of carbon source addition on water quality and growth performance of fish in different carp stocking modes land-based experimental mesocosm biofloc systems. Three stocking modes with mirror carp monoculture, mirror carp + bighead carp polyculture, and mirror carp + bighead carp + silver carp polyculture were arranged in three replicate enclosures. The results showed survival rates (SR) of mirror carp in polyculture mode were significantly higher than that in monoculture mode, and protein efficiency ratios (PER) of fish in two species and three species polyculture modes were 30.1% and 36.1% higher than that in monoculture mode, while the total feed conversion rates (TFCR) of fish were 22.7% and 26.3% lower than that in monoculture mode. The crude protein and ash of the muscle composition of mirror carp in three species polyculture mode were significantly higher than those in monoculture mode. The results showed a significant positive correlation between bioflocs volumes and experimental water temperatures at the temperatures of 19.3–28.5 °C in different stocking modes. The total ammonia nitrogen (TAN), nitrite nitrogen (NO₂-N), total inorganic nitrogen (TIN), orthophosphate (PO₄-P) and total suspended solidities (TSS) in two species and three species polyculture modes were lower than those in monoculture mode, while the nitrate nitrogen (NO₃-N), total alkalinity, total suspended organics (TSO) and Chlorophyll a were higher than those in monoculture mode, and there were no significant differences in these parameters except for the Chlorophyll a between different stocking modes. The present study revealed that polyculture modes can effectively perform the ecological function and increase aquaculture efficiency in biofloc systems.

Key words: *Cyprinus carpio*; carbon sources; growth performance; water quality; stocking modes

Corresponding author: XU Qiyou. E-mail: xuqiyou@sina.com

Funding projects: China Agriculture Research System (CARS-46); National Science and Technology Support Program (2012BAD25B00); Central-level Non-profit Scientific Research Institutes Special Funds (HSY201407)