

DOI: 10.12264/JFSC2021-0351

饲料中发酵啤酒酵母添加水平对大口黑鲈生长、饲料利用效率和水质的影响

崔正贺¹, 余聪², 李云梦², 王岩²

1. 焦作师范高等专科学校, 河南 焦作 454001;

2. 浙江大学海洋学院, 浙江 舟山 316021

摘要: 通过养殖实验评价了饲料中发酵啤酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)添加水平对大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)生长、饲料利用效率和水质的影响。以鱼粉含量为 40%的饲料为背景(RF), 利用棉籽浓缩蛋白替代饲料 RF 中 60%的鱼粉(CH0); 在饲料 CH0 的基础上, 分别按 1% (CH1)和 2% (CH2)的剂量添加发酵啤酒酵母。将初始体重为(21.7±0.2) g 的实验鱼在容积为 4000 L 的室外聚乙烯水槽内养殖 8 周, 密度为 30 尾/水槽。实验期间, 水温为(22.5±5.2) °C, 溶解氧>6.0 mg/L, pH 为 6.8±0.1。实验结果表明, 在饲料中添加 1%或 2%的发酵啤酒酵母对鱼成活率、体增重、摄食率、饲料利用效率(饲料系数、碳和氮储积效率)、单位鱼产量鱼粉消耗、鱼体形态(肥满度、肝重指数)和组成(水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分、碳和磷含量)、碳、氮和磷废物排放量以及养殖水槽内水质(氨氮、总磷和高锰酸盐指数)无显著影响($P>0.05$)。磷储积效率随发酵啤酒酵母添加水平增加明显下降($P<0.05$)。摄食饲料 RF 的鱼与摄食饲料 CH0、CH1 和 CH2 的鱼之间在体增重、摄食率、饲料系数、碳和氮储积效率、鱼体水分、粗蛋白和粗脂肪含量、碳废物排放量方面无显著差异($P>0.05$), 但前者的单位鱼产量鱼粉消耗、肝重指数和鱼体灰分含量明显高于后者($P<0.05$)。摄食饲料 RF 的鱼磷储积效率明显高于摄食饲料 CH1 和 CH2 的鱼($P<0.05$), 而氮和磷废物排放量显著低于后者($P<0.05$)。与采用湖沼学方法估算的养殖水体氮、磷积累量相比, 采用营养学方法估算的氮积累量较低($P<0.05$), 而磷积累量较高($P<0.01$)。本研究结果揭示, 通过添加棉籽浓缩蛋白将饲料中鱼粉含量降低到 16%不会对大口黑鲈摄食、生长、饲料利用效率、鱼体组成和养殖废物排放量产生显著的负面影响; 在饲料中添加 1%或 2%的发酵啤酒酵母不会明显增加摄食低鱼粉饲料的鱼的生长速度和饲料利用效率, 或明显降低其养殖废物排放量。

关键词: 大口黑鲈; 发酵啤酒酵母; 饲料; 生长; 氮排放; 磷排放; 水质

中图分类号: S963

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)02-0274-10

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)属鲈形目(Perciformes), 太阳鱼科(Centrarchidae), 黑鲈属, 俗名加州鲈, 为淡水肉食性鱼类, 原产于北美洲, 20 世纪 80 年代后被引入中国大陆养殖。大口黑鲈生长速度快, 肉质鲜美, 适温范围广, 是淡水池塘集约化养殖的优良品种。国外学者报道大口黑鲈饲料蛋白质需求为 40%~44%^[1-2], 但投喂据

此参数配方的饲料时鱼生长缓慢, 故国内池塘养殖中曾一度以冰鲜鱼为饵料。陈乃松等^[3]发现大口黑鲈适宜饲料蛋白质含量为 46%~49%, Huang 等^[4]进一步指出其适宜饲料蛋白质水平为 48%~52%, 表明高蛋白的配合饲料可满足大口黑鲈快速生长的需求。配合饲料技术的突破推动了大口黑鲈养殖产业的发展, 2017 年国内大口黑鲈养殖

收稿日期: 2021-07-26; 修订日期: 2021-09-15.

基金项目: 浙江省重点研发计划项目(2018C02033).

作者简介: 崔正贺(1978-), 男, 硕士研究生, 研究方向为鱼类生态和养殖. E-mail: cuizhenghe@163.com

通信作者: 王岩, 教授, 研究方向为水域生态学、鱼类营养和可持续水产养殖模式. E-mail: ywang@zju.edu.cn

产量从 2016 年的 347300 t 跃增至 456900 t。

减少鱼类饲料中的鱼粉用量是近 40 年来水产养殖研究的重要问题^[5-6]。与杂食性鱼类饲料相比,肉食性鱼类饲料中蛋白质和鱼粉含量较高^[7],例如大口黑鲈商业饲料中鱼粉含量高达 45%^[8]。研究表明,通过添加鸡肉粉和豆粕混合物、大豆浓缩蛋白(SPC)或辐照羽毛粉可将饲料鱼粉含量降低至 16%,而对大口黑鲈生长和饲料利用效率无明显负面影响^[9-11]。啤酒酵母中富含核苷酸^[12],而核苷酸可改善鱼类的生长^[13]。国外学者报道在饲料中按 1%添加发酵啤酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)能够明显改善虹鳟的生长和免疫性能^[14-15],但 Wu 等^[11]发现添加 0.5%的发酵啤酒酵母未显著增加利用大豆浓缩蛋白替代大口黑鲈饲料鱼粉的水平。考虑到发酵啤酒酵母的作用效果可能与其在饲料中的添加量有关,有必要探讨增加发酵啤酒酵母的添加水平是否有助于改善摄食低鱼粉饲料的大口黑鲈的生长。此外,尽管研究表明利用 SPC 适度替代饲料鱼粉不会导致氮、磷废物排放量增加^[11],但该结论尚未从水质的角度得以验证。本研究通过养殖实验评价了饲料中发酵啤酒酵母添加水平对大口黑鲈产量、饲料利用效率和养殖水质的影响,目的是确定在大口黑鲈低鱼粉饲料配方中添加发酵啤酒酵母的必要性,同时评价利用棉籽浓缩蛋白(CPC)替代饲料鱼粉对大口黑鲈养殖水质的影响。

1 材料与方法

1.1 实验设计、实验鱼和饲料

采用单因素实验设计。背景饲料(RF)鱼粉含量为 40%,利用棉籽浓缩蛋白(CPC)替代饲料 RF 中鱼粉的 60% (CH0),在此基础上,分别按 1% (CH1)和 2% (CH2)的剂量添加发酵啤酒酵母。实验饲料蛋白质和脂肪含量分别为 50%和 11%^[4]。

所用大口黑鲈幼鱼购自德清市乾元镇某淡水鱼育苗场(湖州,浙江),用活水车运至浙江大学紫金港校区动物科学实验中心后,先在容积为 2000 L 的室外聚乙烯水槽中暂养 4 周,暂养期间投喂根据浙江大学水域生态系统与水产养殖实验室配方加工的浮性膨化饲料(粗蛋白含量为 50%,

粗脂肪含量为 9%)。所用棉籽浓缩蛋白(CPC)由湖南欣瑞生物科技有限公司(常德,湖南)提供,其他饲料原料,包括蒸汽干燥鱼粉(新西兰)、宠物级鸡肉粉(美国)、去皮豆粕、大豆浓缩蛋白(SPC)、面粉和鱼油等购自浙江省科盛饲料股份有限公司(绍兴,浙江)。DL-Met 购自潜江永安制药有限公司(潜江,湖北)。蛋白混合物根据专利(ZL 200710001775.0)配制,成分包括鸡肉粉、豆粕、晶体氨基酸等。主要饲料原料的营养组成见表 1。

表 1 饲料原料的营养组成
Tab. 1 Proximate composition of the feed ingredients %

原料 ingredient	干物质 dry matter	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	灰分 ash
鱼粉 fish meal	91.6	69.5	9.0	13.4
棉籽浓缩蛋 cottonseed-protein meal	91.8	63.0	0.7	7.3
蛋白混合物 soybean meal	90.7	49.7	1.3	6.4
面粉 wheat flour	88.0	17.6	2.2	1.0

注:粗蛋白、粗脂肪和灰分表示原料在自然贮存条件下的含量,数据为两次测量结果的平均值。
Note: Crude protein, crude lipid and ash reflect the situation of the feed ingredients stored in air, and the data are means of two measurements.

将饲料原料粉碎,过 80 目筛,然后根据配方依次称重各原料(最后加入鱼油)并手工混匀,将饲料原料混合物移入饲料搅拌机,加入约 20% (V/W)的水后混合 10 min。用中国水产科学研究院渔业机械研究所生产的 SLP-450 型单螺杆饲料膨化机进行饲料颗粒(直径为 3 mm,长度为 5 mm)的制粒。待饲料在室温下自然风干后将其分装在塑料袋内,使用前贮存在冰箱(-20 ℃)中。实验饲料配方和营养组成见表 2。

1.2 养殖实验

实验前挑选 500 尾个体大小接近的鱼,将其在室外聚乙烯水槽(直径为 140 cm,高为 140 cm,容积为 2000 L)中驯养两周。驯养期间每天早、晚分别按饱食量投喂饲料 RF。实验开始时先停喂 24 h,然后将驯养的鱼集中在一个水槽中。每次随机捕捞 30 尾鱼,群体称重后随机放入实验所用的室外聚乙烯水槽(直径为 160 cm,高为 200 cm,容积为 4000 L)中。每种饲料设 3 个重复,共用 12

个水槽。实验鱼初始体重为(21.7±0.2) g ($\bar{x}\pm SD$, $n=12$)。放养结束后从剩余的驯养鱼中随机取 3 组鱼(5 尾/组), 分别测量其体重、体长和肝重。将所取的鱼保存在冰箱(-20 ℃)中作为分析实验开始时鱼体组成的样品。

表 2 实验饲料配方和营养组成
Tab. 2 Formulation and proximate composition of the test diets

原料 ingredient	饲料 diet				%
	RF	CH0	CH1	CH2	
鱼粉 fish meal	40.0	16.0	16.0	16.0	
棉籽浓缩蛋白 cottonseed-protein meal	0.0	26.5	26.5	26.5	
蛋白混合物 protein premix	30.0	30.0	30.0	30.0	
面粉 wheat flour	12.9	12.9	12.9	12.9	
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	1.5	1.5	1.5	1.5	
氯化胆碱 choline chloride	0.2	0.2	0.2	0.2	
维生素和矿物质预混物 ^a vitamin and mineral premix ^a	1.5	1.5	1.5	1.5	
发酵啤酒酵母 <i>Saccharomyces cerevisiae</i>			1.0	2.0	
沸石粉 bentonite	6.5	2.0	1.0	0.0	
鱼油 fish oil	7.4	9.4	9.4	9.4	
干物质 dry matter	92.8	92.4	91.6	93.2	
粗蛋白 ^b crude protein ^b	50.3	50.1	50.4	50.3	
粗脂肪 ^b crude lipid ^b	11.0	11.2	11.1	11.1	
灰分 ^b ash ^b	15.2	9.6	8.7	8.0	
磷 ^b phosphorus ^b	1.6	1.6	1.6	1.6	

注: ^a 维生素和矿物质预混物(每 kg 饲料): 维生素 A, 8000 IU; 维生素 D₃, 2000 IU; 维生素 E, 100 mg; 维生素 K₃, 7.5 mg; 维生素 B₁, 15 mg; 维生素 B₂, 15 mg; 维生素 B₆, 12.5 mg; 维生素 B₁₂, 0.05 mg; 生物素, 0.25 mg; 泛酸钙, 40 mg; 叶酸, 5 mg; 烟酰胺, 50 mg; 维生素 C, 140 mg; 肌醇, 120 mg; FeSO₄, 40 mg; CuSO₄·5H₂O, 25 mg; MnSO₄·4H₂O, 10 mg; ZnSO₄, 100 mg; MgSO₄·7H₂O, 200 mg; CoCO₃, 0.35 mg; KI, 0.05 mg; Na₂SeO₃, 0.3 mg; C₁₄H₁₉NO, 5 mg。 ^b 粗蛋白、粗脂肪、灰分和磷含量表示自然贮存条件下的含量, 数据为两次测量结果的平均值。

Note: ^a Rovimix provides per kg of feed: vitamin A, 8000 IU; vitamin D₃, 2000 IU; vitamin E, 100 mg; vitamin K₃, 7.5 mg; vitamin B₁, 15 mg; vitamin B₂, 15 mg; vitamin B₆, 12.5 mg; vitamin B₁₂, 0.05 mg; D-biotin, 0.25 mg; D-calcium pantothenate, 40 mg; folic acid, 5 mg; niacinamide, 50 mg; vitamin C, 140 mg; inositol, 120 mg; FeSO₄, 40 mg; CuSO₄·5H₂O, 25 mg; MnSO₄·4H₂O, 10 mg; ZnSO₄, 100 mg; MgSO₄·7H₂O, 200 mg; CoCO₃, 0.35 mg; KI, 0.05 mg; Na₂SeO₃, 0.3 mg; C₁₄H₁₉NO, 5 mg。 ^b Crude protein, crude lipid, ash and phosphorus are expressed as the situation stored in air, and the data are means of two measurements.

养殖实验从 2017 年 8 月 26 日开始至 10 月

20 日结束, 历时 8 周。实验期间, 每天 8:00 和 16:00 分别按饱食量向实验水槽内投喂饲料^[16]。发现水槽内有死鱼则立即捞出并称重。水槽内 24 h 连续充气, 并根据水质状况分别在 9 月 4 日、9 月 13 日、9 月 26 日和 10 月 8 日适度换水(每次换水量为 2000 L)。记录降雨天数(共 13 d)。每天 7:30 和 15:30 测量水温[(22.5±5.2) ℃]; 每天上午分别用 YSI-58 溶氧仪(YSI Incorporated, 美国)和雷磁 PHB-4 pH 计(上海精密科学仪器公司, 中国)测定水槽内溶氧(>6.0 mg/L)和 pH(6.8±0.1)。定期用 5 L 采水器在每个实验水槽内水面下 0.5 m 处采样, 分析总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(TAN)和高锰酸盐指数(COD_{Mn})。实验结束时, 先停喂 24 h, 然后分别将每个水槽内的鱼全部捕出并群体称重。从每个水槽内随机取 5 尾鱼, 分别测量其体重、体长和肝重后保存在冰箱(-20 ℃)中, 作为分析实验结束时鱼体组成的样品。

1.3 化学分析

将所取的实验鱼样品在室温下化冻、称重, 在高压灭菌锅(120 ℃)内蒸煮 20 min 后转入烘箱内(105 ℃)烘干。饲料原料、实验饲料和实验鱼分析前先粉碎并过 40 目筛, 按 AOAC (1995)^[17]方法分析水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量。其中, 粗蛋白含量用 Foss-8400 全自动凯氏定氮仪(FOSS, 瑞典)测定; 粗脂肪含量用 SZF-06A 脂肪抽提仪(上海新嘉电子有限公司, 中国)测定。用钒钼酸铵法测定磷含量; 用 EA3000 CHNS 元素分析仪(Euro Vector, 意大利)测定碳含量。

所取水样的 TN、TP 和 TAN 含量用 Skalar San⁺⁺营养盐流动注射分析仪(Skalar Analytical BV, 荷兰)测定。用酸性高锰酸钾法测定 COD_{Mn}。

1.4 数据计算与统计

摄食率(feed intake, FI)、体增重(weight gain, WG)、饲料系数(feed conversion ratio, FCR)、碳储积效率(carbon retention efficiency, CRE)、氮储积效率(nitrogen retention efficiency, NRE)、磷储积效率(phosphorus retention efficiency, PRE)、肥满度(condition factor, CF)、肝重指数(hepatosomatic index, HSI)、碳废物排放量(carbon waste, CW)、

氮废物排放量(nitrogen waste, NW)和磷废物排放量(phosphorus waste, PW)、单位鱼产量鱼粉消耗(ratio of fish meal consumption to fish production, RCP)分别按下列公式计算:

$$FI (\%/d) = 100 \times I / [(W_0 + W_t) / 2 \times t]$$

$$WG (g) = W_t / N_t - W_0 / N_0$$

$$FCR = I / (W_t - W_0 + W_d)$$

$$CRE (\%) = 100 \times (W_t \times C_{Ct} - W_0 \times C_{C0} + W_d \times C_{Cd}) / (I \times C_{Cf})$$

$$NRE (\%) = 100 \times (W_t \times C_{Nt} - W_0 \times C_{N0} + W_d \times C_{Nd}) / (I \times C_{Nf})$$

$$PRE (\%) = 100 \times (W_t \times C_{Pt} - W_0 \times C_{P0} + W_d \times C_{Pd}) / (I \times C_{Pf})$$

$$CF (g/cm^3) = 100 \times W_s / L_s^3$$

$$HSI (\%) = 100 \times W_t / W_s$$

$$CW [g C / (kg \text{ fish gain})] = 1000 \times (I \times C_{Cf}) \times (1 - CRE) / (W_t - W_0 + W_d)$$

$$NW [g N / (kg \text{ fish gain})] = 1000 \times (I \times C_{Nf}) \times (1 - NRE) / (W_t - W_0 + W_d)$$

$$PW [g P / (kg \text{ fish gain})] = 1000 \times (I \times C_{Pf}) \times (1 - PRE) / (W_t - W_0 + W_d)$$

$$RCP (g/g) = WG \times FCR \times FL / (W_t / N_t \times DMF_t - W_0 / N_0 \times DMF_0)$$

式中, $I(g)$ 为实验期间每个水槽内投喂的饲料量; $W_0(g)$ 和 $W_t(g)$ 分别为实验开始和结束时鱼的体重; N_0 和 N_t 为实验开始和结束时每个水槽内鱼的尾数; $t(d)$ 为实验时间; $W_d(g)$ 为每个水槽内死鱼的质量; $C_{C0}(\%)$ 和 $C_{Ct}(\%)$ 分别为实验开始和结束时鱼体的碳含量; $C_{Cd}(\%)$ 为死鱼的碳含量; $C_{N0}(\%)$ 和 $C_{Nt}(\%)$ 分别为实验开始和结束时鱼体的氮含量; $C_{Nd}(\%)$ 为死鱼的氮含量; $C_{P0}(\%)$ 和 $C_{Pt}(\%)$ 分别为实验开始和结束时鱼体的磷含量; $C_{Pd}(\%)$ 为死鱼的磷含量; $C_{Cf}(\%)$ 、 $C_{Nf}(\%)$ 和 $C_{Pf}(\%)$ 分别为饲料的碳、氮和磷含量; $W_s(g)$ 、 $L_s(cm)$ 和 $W_t(g)$ 分别为实验结束时所取样鱼样品的体重、体长和肝重。FL(%)为实验饲料鱼粉含量, $DMF_0(\%)$ 和 $DMF_t(\%)$ 为实验开始和结束时鱼体的干物质含量。

实验水槽内积累的氮(NA)、磷(PA)可根据营养学方法和湖沼学方法计算^[18]。按营养学方法计算时, 其公式如下:

$$NA (g) = NW \times (W_t - W_0)$$

$$PA (g) = PW \times (W_t - W_0)$$

按湖沼学方法计算时, 其公式如下:

$$NA (g) = [(TN_t - TN_0) \times V + \sum v \times TN_e \text{ 或 } TP_e] / 1000$$

$$PA (g) = [(TP_t - TP_0) \times V + \sum v \times TN_e \text{ 或 } TP_e] / 1000$$

式中, $NW[g N / (kg \text{ fish gain})]$ 和 $PW[g P / (kg \text{ fish$

gain])分别为鱼类养殖的氮和磷废物排放量; $W_0(g)$ 和 $W_t(g)$ 分别为实验开始和结束时鱼的体重; $TN_t(mg/L)$ 和 $TP_t(mg/L)$ 分别为实验结束时水体总氮和总磷浓度; $TN_0(mg/L)$ 和 $TP_0(mg/L)$ 分别为实验开始时水体总氮和总磷浓度; $V(L)$ 为养殖水体积; $v(L)$ 为每次换水体积; $TN_e(mg/L)$ 和 $TP_e(mg/L)$ 分别为排水中的总氮和总磷浓度。

采用单因素方差分析(ANOVA)检验饲料中发酵啤酒酵母添加水平对终体重、成活率、FI、WG、FCR、CRE、NRE、PRE、RCP、CF、HSI、鱼体组成(水分、蛋白质、脂肪、碳、灰分和磷)、CW、NW、PW、TN、TP、TAN 和 COD_{Mn} 的影响。若处理效应显著, 则进一步进行 Duncan's 检验比较 CH0、CH1 和 CH2 之间差异。采用 Dunnett test 比较饲料 RF 与饲料 CH0、CH1 和 CH2 之间上述指标的差异。方差分析前先对用百分数表示的数据(如 FI、NRE、PRE、HSI 和鱼体组成等)进行反正弦转换。采用成对数据 t 检验方法比较采用营养学方法和湖沼学方法所计算出的氮、磷积累量之间的差异。所用统计分析利用 SPSS 20.0 软件完成, 取 $P < 0.05$ 为差异显著性水平。

2 结果与分析

2.1 实验鱼存活、摄食、生长、饲料利用效率和饲料鱼粉依赖性

由表 3 可见, 发酵啤酒酵母添加水平对实验鱼成活率、终体重、WG、FI、FCR、CRE、NRE 和 RCP 无显著影响($P > 0.05$)。随发酵啤酒酵母添加水平升高, PRE 明显下降($P < 0.05$), 摄食饲料 CH0 的鱼 PRE 明显高于摄食饲料 CH2 的鱼($P < 0.05$)。摄食饲料 RF 的鱼终体重、WG、FI、FCR、CRE、NRE 以及成活率与摄食饲料 CH0、CH1 和 CH2 的鱼之间无显著差异($P > 0.05$), 但其 PRE 明显高于摄食饲料 CH1 和 CH2 的鱼($P < 0.05$)。摄食饲料 RF 的鱼 RCP 明显高于摄食饲料 CH0、CH1 和 CH2 的鱼($P < 0.05$)。

2.2 实验鱼肥满度、肝重指数和鱼体组成

从表 4 可见, 发酵啤酒酵母添加水平对实验鱼 CF、HSI 和鱼体组成(水分、粗蛋白、粗脂肪、

灰分、碳、磷)无显著影响($P>0.05$)。摄食饲料 RF 的鱼水分、粗蛋白、粗脂肪和碳含量与摄食饲料 CH0、CH1 和 CH2 的鱼之间无显著差异($P>0.05$), 但 HSI 和鱼体灰分含量明显高于后者($P<0.05$)。摄食饲料 RF 的鱼 CF 显著高于摄食饲料 CH0 的鱼, 磷含量明显高于摄食饲料 CH2 的鱼($P<0.05$)。

2.3 养殖废物排放量和水质变化

从表 5 可见, 不同发酵啤酒酵母添加水平对 CW、NW 和 PW 无显著影响($P>0.05$)。摄食饲料 RF 的鱼 CW 与摄食饲料 CH0、CH1 和 CH2 的鱼

之间无显著差异($P>0.05$), 但其 NW 和 PW 分别显著低于摄食饲料 CH1 和 CH2 的鱼($P<0.05$)。

从表 6 可见, 按营养学方法计算的养殖水体氮积累量低于按湖沼学方法计算的值($P<0.05$), 但按营养学方法计算的水体磷积累量明显高于按湖沼学方法计算的值($P<0.01$)。

从图 1 可见, 实验期间水槽内水温始终处于波动状态, 总体上随实验时间延长呈下降趋势。最高水温为 32.5 ℃, 最低水温为 15.2 ℃, 水温低于 20 ℃的时间有 14 d。

表 3 大口黑鲈存活、摄食、生长、饲料利用效率和饲料鱼粉依赖性
Tab. 3 Survival, feed intake, growth, feed utilization efficiency and ratio of fish meal consumption to fish production in *Micropterus salmoides* cultivation

n=3; $\bar{x} \pm SD$; WW									
饲料 diet	终体重/g final body weight	体增重/g WG	摄食率/(%/d) FI	饲料系数 FCR	碳储积率/% CRE	氮储积率/% NRE	磷储积率/% PRE	单位鱼产量鱼粉消耗 /(g/g) RCP	成活率/% survival
RF	76.1±2.4	54.2±2.6	1.77±0.03	0.90±0.03	36.86±2.47	38.38±1.49	43.10±2.62	1.27±0.07	99±2
CH0	77.4±7.2 ^a	55.7±7.4 ^a	1.86±0.08 ^a	0.95±0.02 ^a	34.49±1.27 ^a	36.26±0.57 ^a	40.44±3.51 ^b	0.55±0.02 ^{a*}	96±4 ^a
CH1	69.3±6.1 ^a	47.9±6.2 ^a	1.87±0.04 ^a	1.02±0.09 ^a	31.11±3.08 ^a	34.34±2.88 ^a	34.87±3.70 ^{ab*}	0.56±0.06 ^{a*}	98±2 ^a
CH2	73.3±3.1 ^a	51.6±2.9 ^a	1.85±0.08 ^a	0.99±0.08 ^a	31.49±2.17 ^a	34.45±3.32 ^a	31.62±2.41 ^{a*}	0.56±0.05 ^{a*}	96±2 ^a

注: RF 为鱼粉含量为 40% 的背景饲料; 在 CH0、CH1 和 CH2 中利用棉籽浓缩蛋白替代饲料 RF 中鱼粉的 60%, 其中 CH1 和 CH2 中分别按 1% 和 2% 的剂量添加发酵啤酒酵母。上标字母和星号分别表示 Duncan's 检验(CH0、CH1 和 CH2 之间)和 Dunnett 检验(RF 与 CH0、CH1 和 CH2 之间)结果。同列数据中上标字母不同者表示处理间差异显著($P<0.05$), 同列数据中上标星号者表示其与 RF 差异显著($P<0.05$)。
Note: RF was the reference diet containing 40% fish meal; in diets CH0, CH1 and CH2, 60% of the fish meal in diet RF was replaced with cottonseed protein concentrate, and fermented brewer's yeast was added at 1% and 2% in diets CH1 and CH2. The superscripts (letter or asterisk) represent the results of Duncan's test (between CH0, CH1 and CH2) or Dunnett test (between RF and CH0, CH1 or CH2), respectively. The data in the same column with different letter are significantly different in Duncan's test ($P<0.05$), while the data in the same column with asterisk are significant from RF ($P<0.05$).

表 4 大口黑鲈肥满度、肝重指数和鱼体组成
Tab. 4 Condition factor, hepatosomatic index and body composition of *Micropterus salmoides*

n=3; $\bar{x} \pm SD$; WW								
饲料 diet	肥满度/(g/cm ³) CF	肝重指数/% HSI	水分/% moisture	粗蛋白/% crude protein	粗脂肪/% crude lipid	灰分/% ash	碳/% carbon	磷/% phosphorus
initial	1.91±0.17	2.41±0.58	73.6±0.3	16.2±0.1	5.4±0.3	4.3±0.0	12.6±0.6	1.04±0.01
RF	2.17±0.19	2.64±0.45	72.0±0.6	17.1±0.1	6.6±0.6	3.6±0.1	13.6±0.3	0.75±0.01
CH0	2.01±0.07 ^{a*}	2.00±0.32 ^{a*}	72.6±0.2 ^a	16.9±0.2 ^a	6.6±0.4 ^a	3.4±0.1 ^{a*}	13.5±0.2 ^a	0.72±0.04 ^a
CH1	2.11±0.11 ^a	2.04±0.24 ^{a*}	71.9±0.5 ^a	17.1±0.1 ^a	6.9±0.7 ^a	3.4±0.0 ^{a*}	13.5±0.1 ^a	0.72±0.02 ^a
CH2	2.06±0.11 ^a	2.08±0.44 ^{a*}	72.5±0.2 ^a	16.8±0.3 ^a	7.0±0.1 ^a	3.3±0.1 ^{a*}	13.3±0.1 ^a	0.68±0.01 ^{a*}

注: RF 为鱼粉含量为 40% 的背景饲料; 在 CH0、CH1 和 CH2 中利用棉籽浓缩蛋白替代饲料 RF 中鱼粉的 60%, 其中 CH1 和 CH2 中分别按 1% 和 2% 的剂量添加发酵啤酒酵母。上标字母和星号分别表示 Duncan's 检验(CH0、CH1 和 CH2 之间)和 Dunnett 检验(RF 与 CH0、CH1 和 CH2 之间)结果。同列数据中上标字母不同者表示处理间差异显著($P<0.05$), 同列数据中上标星号者表示其与 RF 差异显著($P<0.05$)。
Note: RF was the reference diet containing 40% fish meal; in diets CH0, CH1 and CH2, 60% of the fish meal in diet RF was replaced with cottonseed protein concentrate, and fermented brewer's yeast was added at 1% and 2% in diets CH1 and CH2. The superscripts (letter or asterisk) represent the results of Duncan's test (between CH0, CH1 and CH2) or Dunnett test (between RF and CH0, CH1 or CH2), respectively. The data in the same column with different letter are significantly different in Duncan's test ($P<0.05$), while the data in the same column with asterisk are significant from RF ($P<0.05$).

表 5 大口黑鲈碳、氮、磷废物排放量
Tab. 5 Wastes of carbon, nitrogen and phosphorus of *Micropterus salmoides*

项目 item	n=3; $\bar{x} \pm SD$			
	RF	CH0	CH1	CH2
碳废物排放量/[g C/(kg fish gain)] CW	240.5±17.0	262.7±9.6 ^a	312.1±41.1 ^a	299.6±33.6 ^a
氮废物排放量/[g N/(kg fish gain)] NW	44.8±2.5	48.4±1.3 ^a	53.9±7.0 ^{a*}	52.3±6.9 ^a
磷废物排放量/[g P/(kg fish gain)] PW	8.4±0.7	8.8±0.6 ^a	10.7±1.5 ^a	11.1±1.3 ^{a*}

注: RF 为鱼粉含量为 40% 的背景饲料; 在 CH0、CH1 和 CH2 中利用棉籽浓缩蛋白替代饲料 RF 中鱼粉的 60%, 其中 CH1 和 CH2 中分别按 1% 和 2% 的剂量添加发酵啤酒酵母。上标字母和星号分别表示 Duncan's 检验(CH0、CH1 和 CH2 之间)和 Dunnett 检验(RF 与 CH0、CH1 和 CH2 之间)结果。同行数据中上标字母不同者表示处理间差异显著($P<0.05$), 同行数据中上标星号者表示其与 RF 差异显著($P<0.05$)。

Note: RF was the reference diet containing 40% fish meal; in diets CH0, CH1 and CH2, 60% of the fish meal in diet RF was replaced with cottonseed protein concentrate, and fermented brewer's yeast was added at 1% and 2% in diets CH1 and CH2. The superscripts (letter or asterisk) represent the results of Duncan's test (between CH0, CH1 and CH2) or Dunnett test (between RF and CH0, CH1 or CH2), respectively. The data in the same row with different letter are significantly different in Duncan's test ($P<0.05$), while the data in the same row with asterisk are significant from RF ($P<0.05$).

表 6 实验期间水槽内的氮和磷积累量
Tab. 6 Accumulation of nitrogen and phosphorus in the experimental tanks

饲料 diet	营养学方法 nutritional method		湖沼学方法 limnological method	
	氮积累量/g nitrogen accumulation	磷积累量/g phosphorus accumulation	氮积累量/g nitrogen accumulation	磷积累量/g phosphorus accumulation
RF	71.7±2.7	13.4±0.6	84.5±5.7	2.5±0.3
CH0	76.9±7.5	13.9±1.5	84.5±14.1	1.7±0.5
CH1	74.2±2.2	14.7±0.1	99.6±6.7	1.8±0.1
CH2	75.4±4.0	16.0±0.6	93.1±31.2	1.3±0.1

注: RF 为鱼粉含量为 40% 的背景饲料; 在 CH0、CH1 和 CH2 中利用棉籽浓缩蛋白替代饲料 RF 中鱼粉的 60%, 其中 CH1 和 CH2 中分别按 1% 和 2% 的剂量添加发酵啤酒酵母。

Note: RF was the reference diet containing 40% fish meal; in diets CH0, CH1 and CH2, 60% of the fish meal in diet RF was replaced with cottonseed protein concentrate, and fermented brewer's yeast was added at 1% and 2% in diets CH1 and CH2.

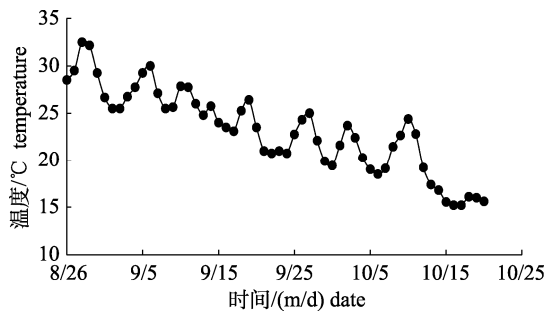


图 1 实验期间水温变化

Fig. 1 Variation in water temperature during the experiment

从图 2 可见, 8 月 26 日至 9 月 26 日实验水槽内 TAN 和 TN 浓度呈上升趋势, 随后至 10 月 20 日呈下降趋势; 8 月 26 日至 9 月 13 日 TP 和 COD_{Mn} 浓度呈上升趋势, 随后至 10 月 20 日呈下降趋势。总体上看, TN 和 TAN 浓度峰值出现的时间较 TP 和 COD_{Mn} 峰值出现的时间滞后 10 d 左右。9 月下旬进入雨季后, TN、TP、TAN 和 COD_{Mn} 呈下降趋势, 10 月其浓度一直维持在较低的水平。发酵啤

酒酵母添加水平对 TAN、TP 和 COD_{Mn} 浓度无显著影响($P>0.05$)。投喂饲料 RF 的水槽内 TAN 和 COD_{Mn} 浓度与投喂饲料 CH0、CH1 和 CH2 的水槽无显著差异($P>0.05$), 仅在 9 月 4 日其 TN 浓度显著低于投喂饲料 CH0 和 CH2 的水槽($P<0.05$)。实验结束时, 投喂饲料 RF 的水槽内 TP 浓度明显高于投喂饲料 CH0 和 CH2 的水槽($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 发酵啤酒酵母添加水平对大口黑鲈存活、生长和饲料利用效率的影响

大口黑鲈商业饲料中鱼粉含量往往高达 45%^[8], 降低饲料鱼粉含量是大口黑鲈养殖产业可持续发展亟需解决的重要问题。在大口黑鲈饲料鱼粉替代方面已开展了一些工作, 例如, Li 等^[19]报道通过添加鸡血浆蛋白粉可将饲料鱼粉含量降低至 32%; He 等^[20]报道通过添加豆粕和发酵豆粕可将饲料

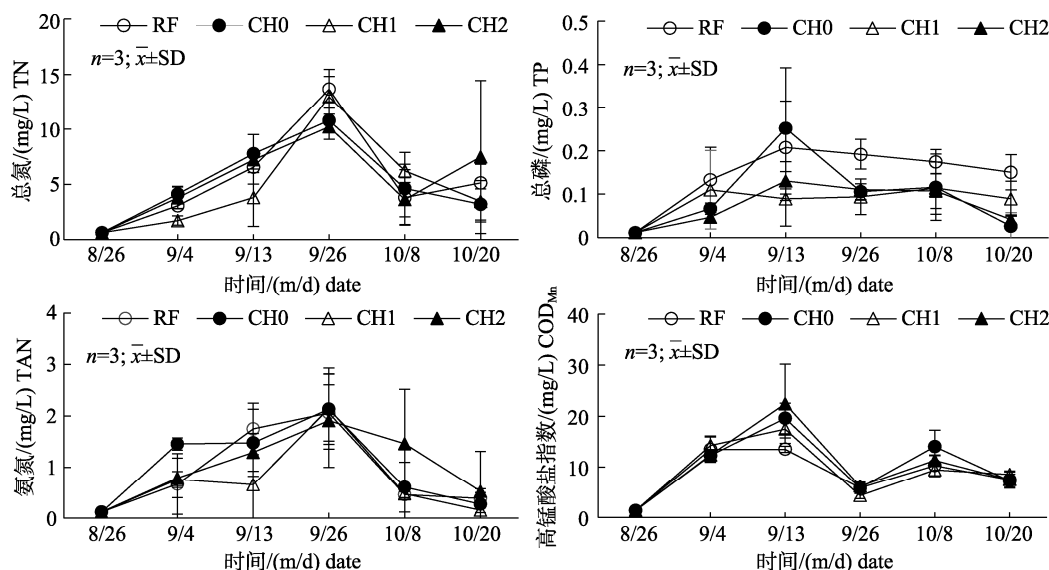


图 2 实验期间总氮、总磷、氨氮和高锰酸盐指数变化

RF 为鱼粉含量为 40% 的背景饲料; 在 CH0、CH1 和 CH2 中利用棉籽浓缩蛋白替代饲料 RF 中鱼粉的 60%, 其中 CH1 和 CH2 中分别按 1% 和 2% 的剂量添加发酵啤酒酵母。

Fig. 2 Variation in total nitrogen, total phosphorus, ammonia and chemical oxygen demand during the experiment RF was the reference diet containing 40% fish meal; in diets CH0, CH1 and CH2, 60% of the fish meal in diet RF was replaced with cottonseed protein concentrate, and fermented brewer's yeast was added at 1% and 2% in diets CH1 and CH2.

鱼粉含量降低至 24%; Ren 等^[9-10]和 Wu 等^[11]报道通过添加鸡肉粉与豆粕的混合物、辐照羽毛粉或 SPC 可将饲料中的鱼粉含量降低至 16%。本研究中, 摄食饲料 RF 的鱼 WG、FI、FCR、NRE、CRE 以及成活率与摄食饲料 CH0、CH1 和 CH2 的鱼之间无显著差异, 表明通过添加 CPC 可将大口黑鲈饲料中的鱼粉含量降低至 16%, 这与 Ren 等^[9-10]和 Wu 等^[11]的结论一致。Heidarieh 等^[15]报道在饲料中添加 1% 发酵啤酒酵母可明显改善虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 的生长和免疫性能, 但 Wu 等^[11]发现在配方中添加 0.5% 发酵啤酒酵母不会显著增加利用 SPC 替代大口黑鲈饲料鱼粉的水平。本研究中, 摄食饲料 CH0、CH1 和 CH2 的鱼 WG、FI、FCR、NRE、CRE 以及成活率之间无显著差异, 表明添加 1% 或 2% 发酵啤酒酵母不会明显改善大口黑鲈摄食低鱼粉饲料时的摄食、生长和饲料利用效率, 这与 Wu 等^[11]的结论一致。啤酒酵母中富含核苷酸^[12], de Cruz 等^[13]报道在饲料中添加核苷酸可改善杂交条纹鲈摄食用棉粕替代鱼粉的饲料时的生长。本研究结果是否意味着饲料中核苷酸不是限制大口黑鲈利用植物蛋白原料的因素尚需进一步的实验验证。

3.2 发酵啤酒酵母添加水平对大口黑鲈肥满度、肝重指数和鱼体组成的影响

研究表明, 利用鸡肉粉、肉骨粉、豆粕 SPC 等动物或植物性蛋白原料适度替代饲料中的鱼粉对实验鱼 CF 以及鱼体组成往往不会产生显著影响, 但可导致肝重指数显著降低^[9-11,21-23]。本研究发现摄食饲料 RF 的鱼 CF 和鱼体组成与摄食饲料 CH0、CH1 和 CH2 的鱼之间无显著差异, 表明利用 CPC 替代大口黑鲈饲料中的鱼粉不会明显改变鱼体 CF 和鱼体组成; 摄食饲料 CH0、CH1 和 CH2 的鱼之间 CF、HSI 和鱼体组成无显著差异, 表明添加 1% 或 2% 的发酵啤酒酵母不会显著改变鱼体形态和组成。这一结果与 3.1 中所述“添加 1% 或 2% 发酵啤酒酵母水平不会显著改善大口黑鲈摄食、生长和饲料利用效率”的观点一致。

3.3 发酵啤酒酵母添加水平对降低大口黑鲈饲料鱼粉依赖性和养殖污染的影响

饲料蛋白源匮乏和养殖污染是限制水产养殖产业可持续发展的重要因素^[7]。在不降低鱼类生长性能的前提下, 最大程度地降低水产饲料对鱼粉的依赖性为解决饲料蛋白源匮乏的重要途径^[11]。

本研究中,随着将鱼粉含量从40%减少至16%,RCP从1.27降至0.55~0.56,表明通过利用CPC替代鱼粉可将大口黑鲈养殖生产中所消耗的鱼粉量降低一半以上;在低鱼粉饲料中添加1%或2%发酵啤酒酵母未能进一步降低RCP,表明添加发酵啤酒酵母不能减轻大口黑鲈饲料对鱼粉的依赖性。此外,在鱼类养殖中,投喂饲料所输入的氮被鱼类利用贮存的比例通常不超过50%^[24],大部分的氮以养殖废物的形式释放入养殖水体,成为水质恶化的诱因。有关水产养殖废物排放对环境的影响已开展了大量的研究^[25],但定量评价水产饲料鱼粉替代对养殖碳、氮、磷废物排放量的影响的研究尚不多见^[9-10,21-23]。本研究中发现摄食饲料RF的鱼碳废物排放量与摄食饲料CH0、CH1和CH2的鱼无显著差异,但氮和磷废物排放量分别显著低于摄食饲料CH1和CH2的鱼;摄食饲料CH0、CH1和CH2的鱼之间碳、氮、磷废物排放量无显著差异。这些结果表明利用CPC替代饲料鱼粉和在饲料中添加发酵啤酒酵母不会导致大口黑鲈养殖中的碳、氮、磷废物排放量发生明显改变。

评价水产养殖废物排放量的方法包括生物学(营养学)方法和化学(湖沼学)方法。Cho等^[18]认为用营养学方法能够较准确地定量因投喂饲料所产生的水产养殖废物排放量。迄今,有关营养学方法和湖沼学方法评价饲料鱼粉替代对养殖水质的影响方面的比较研究尚未见报道。本研究中分别采用营养学方法和湖沼学方法评价了大口黑鲈养殖水体中氮、磷积累量,发现按湖沼学方法计算的氮积累量略高于营养学方法计算值,而按湖沼学方法计算的磷积累量低于后者的计算值。初步分析两种方法在评价氮、磷废物积累方面的差异一方面可能与营养学方法未考虑实验水槽内蓝藻固氮以及大气降尘导致氮积累量增加,另一方面可能与湖沼学方法低估了雨季实验水槽排水时导致磷流失(水槽底部的磷浓度远远高于水体的平均磷浓度)。根据本研究结果,笔者认为营养学和湖沼学方法在评价养殖水体中氮积累的结果较为一致,而采用湖沼学方法评价磷积累时应考虑因磷在养殖水体底部沉积而可能产生的偏差。

李云梦等^[26]报道大口黑鲈养殖池塘中TN浓度为2.35~4.34 mg/L,TP浓度为0.09~0.33 mg/L,TAN浓度为0.00~1.83 mg/L。Li等^[27]报道大口黑鲈养殖水槽内TN浓度为(13.40±2.0) mg/L,TP浓度为(1.90±0.1) mg/L,TAN浓度为(2.70±0.9) mg/L,COD_{Mn}为(18.4±1.0) mg/L。本研究实验期间水槽内TN浓度为0.028~15.41 mg/L [(5.18±4.12) mg/L],TP为0.00~0.37 mg/L [(0.10±0.09) mg/L],TAN为0.037~2.26 mg/L [(0.91±0.82) mg/L],COD_{Mn}为0.06~19.43 mg/L [(9.55±5.96) mg/L]。相比之下,本研究中水槽内的TN、TP和TAN浓度低于以往研究中养殖水槽内的TN、TP和TAN浓度^[27],而TN和TAN浓度明显高于养殖池塘中的TN和TAN浓度^[26]。考虑到本研究中实验水槽内大口黑鲈的放养密度(7.5 尾/m³)是池塘养殖放养密度(3.75 尾/m³,相当于5000 尾/亩)的2倍,实验水槽内较高的TN和TAN浓度应与较高的鱼类放养密度有关。因此,在养殖生产中采用合理的放养密度是有效地控制或降低TN、TP和TAN浓度的重要措施。

4 结论

通过添加CPC可将大口黑鲈饲料中鱼粉含量降低到16%而不会对其摄食、生长、饲料利用效率、鱼体组成和养殖废物排放产生显著的负面影响。在低鱼粉饲料中添加1%或2%发酵啤酒酵母不能明显增加大口黑鲈生长速度和饲料利用效率,也不能明显降低养殖废物排放量。

参考文献:

- [1] Anderson R J, Kienholz E W, Flickinger S A. Protein requirements of smallmouth bass and largemouth bass[J]. The Journal of Nutrition, 1981, 111(6): 1085-1097.
- [2] Portz L, Cyrino J E P, Martino R C. Growth and body composition of juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides* in response to dietary protein and energy levels[J]. Aquaculture Nutrition, 2001, 7(4): 247-254.
- [3] Chen N S, Xiao W W, Liang Q L, et al. Effects of dietary lipid to protein ratios on growth performance, body composition and non-specific immunity of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(8): 1270-1280. [陈乃松, 肖温温, 梁勤朗, 等. 饲料中脂肪与蛋白质比对大口黑鲈生长、体组成和非特异性免疫

- 的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(8): 1270-1280.]
- [4] Huang D, Wu Y B, Lin Y Y, et al. Dietary protein and lipid requirements for juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides*[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2017, 48(5): 782-790.
- [5] Naylor R L, Hardy R W, Bureau D P, et al. Feeding aquaculture in an era of finite resources[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(36): 15103-15110.
- [6] The state of world fisheries and aquaculture 2020: Sustainability in action[R/OL]. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020. <http://www.fao.org/3/ca9229en/online/ca9229en.html>.
- [7] National Research Council, Board on Agriculture, Subcommittee on Fish Nutrition. Nutrient Requirements of Fish[M]. Washington DC: National Academy Press, 2011.
- [8] Han D, Shan X J, Zhang W B, et al. A revisit to fishmeal usage and associated consequences in Chinese aquaculture[J]. Reviews in Aquaculture, 2018, 10(2): 493-507.
- [9] Ren X, Wang Y, Chen J M, et al. Replacement of fishmeal with a blend of poultry byproduct meal and soybean meal in diets for largemouth bass, *Micropterus salmoides*[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2018, 49(1): 155-164.
- [10] Ren X, Huang D, Wu Y B, et al. Gamma ray irradiation improves feather meal as a fish meal alternate in largemouth bass *Micropterus salmoides* diet[J]. Animal Feed Science and Technology, 2020, 269: 114647.
- [11] Wu Y B, Wang Y, Ren X, et al. Replacement of fish meal with gamma-ray irradiated soybean meal in the diets of largemouth bass *Micropterus salmoides*[J]. Aquaculture Nutrition, 2021, 27(4): 977-985.
- [12] Ferreira I M P L V O, Pinho O, Vieira E, et al. Brewer's *Saccharomyces* yeast biomass: Characteristics and potential applications[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(2): 77-84.
- [13] de Cruz C R, Yamamoto F Y, Castillo S, et al. Establishing the optimal adenosine 5'-monophosphate level for hybrid striped bass *Morone chrysops* × *Morone saxatilis*: Effects on growth performance, nutrient digestibility, and immune modulation during acute and chronic stress[J]. Aquaculture, 2020, 520: 734668.
- [14] Sheikhzadeh N, Heidarieh M, Karimi Pashaki A, et al. Hilyses®, fermented *Saccharomyces cerevisiae*, enhances the growth performance and skin non-specific immune parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2012, 32(6): 1083-1087.
- [15] Heidarieh M, Mirvaghefi A R, Akbari M, et al. Evaluations of Hilyses™, fermented *Saccharomyces cerevisiae*, on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth performance, enzymatic activities and gastrointestinal structure[J]. Aquaculture Nutrition, 2013, 19(3): 343-348.
- [16] Huang D, Ren X, Wu Y B, et al. Effect of different feeding-feed deprivation time on feed intake, growth and waste output of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2017, 43(3): 359-364. [黄迪, 任幸, 吴玉波, 等. 不同投喂-停喂时间对大口黑鲈摄食、生长和废物排放的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2017, 43(3): 359-364.]
- [17] AOAC. Official Methods of Analysis[M]. 16th Edition. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists, 1995.
- [18] Cho C Y, Hynes J D, Wood K R, et al. Quantification of fish culture wastes by biological (nutritional) and chemical (limnological) methods: The development of high nutrient dense (HND) diets[C]//Proceedings of the First International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste, 2013: 37-50.
- [19] Li S L, Ding G T, Wang A, et al. Replacement of fishmeal by chicken plasma powder in diets for largemouth bass (*Micropterus salmoides*): Effects on growth performance, feed utilization and health status[J]. Aquaculture Nutrition, 2019, 25(6): 1431-1439.
- [20] He M, Yu Y F, Li X Q, et al. An evaluation of replacing fish meal with fermented soybean meal in the diets of largemouth bass (*Micropterus salmoides*): Growth, nutrition utilization and intestinal histology[J]. Aquaculture Research, 2020, 51(10): 4302-4314.
- [21] Zhang Y Q, Wu Y B, Jiang D L, et al. Gamma-irradiated soybean meal replaced more fish meal in the diets of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)[J]. Animal Feed Science and Technology, 2014, 197: 155-163.
- [22] Wang Y, Wang F, Ji W X, et al. Optimizing dietary protein sources for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) with an emphasis on using poultry by-product meal to substitute fish meal[J]. Aquaculture Research, 2015, 46(4): 874-883.
- [23] Wang Y, Ma X Z, Wang F, et al. Supplementations of poultry by-product meal and selenium yeast increase fish meal replacement by soybean meal in golden pompano (*Trachinotus ovatus*) diet[J]. Aquaculture Research, 2017, 48(4): 1904-1914.
- [24] Chai X J, Ji W X, Han H, et al. Growth, feed utilization, body composition and swimming performance of giant croaker, *Nibea japonica* Temminck and Schlegel, fed at different dietary protein and lipid levels[J]. Aquaculture Nutrition, 2013, 19(6): 928-935.
- [25] Penczak T, Galicka W, Molinski M, et al. The enrichment of a mesotrophic lake by carbon, phosphorus and nitrogen from the cage aquaculture of rainbow trout, *Salmo gairdneri*[J]. Journal of Applied Ecology, 1982, 19(2): 371-393.
- [26] Li Y M, Zheng X F, Wang Y. Analysis on the growth performance and culture environment of largemouth bass *Micropterus salmoides* and snakehead *Ophiocephalus argus* in ponds in Zhejiang Province[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2018, 45(1): 11-17. [李云梦, 郑侠飞, 王岩. 浙江省池塘养殖大口黑鲈和乌鳢的生长性能和养殖环境分析[J]. 水产科技情报, 2018, 45(1): 11-17.]
- [27] Li Y M, Qin J G, Zheng X F, et al. Production performance of largemouth bass *Micropterus salmoides* and water quality variation in monoculture, polyculture and integrated culture[J]. Aquaculture Research, 2019, 50(2): 423-430.

Effect of fermented brewer's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on growth, feed utilization, and water quality in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) farming

CUI Zhenghe¹, YU Cong², LI Yunmeng², WANG Yan²

1. Jiaozuo Normal College, Jiaozuo 454001, China;

2. Ocean College, Zhejiang University, Zhoushan 316021, China

Abstract: An 8-week experiment was conducted to evaluate the effect of fermented brewer's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on growth, feed utilization, and water quality in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) farming. A diet containing 40% fish meal served as the reference (RF). In three other diets, 60% of the fish meal in the RF diet was replaced with cottonseed protein concentrate and supplemented with 0% (CH0), 1% (CH1), and 2% (CH2) fermented brewer's yeast. The experiment was conducted in outdoor tanks, each containing 4000 L of aerated tap water. The initial body weight of the fish was (21.7 ± 0.2) g (mean $\pm$ SD, $n=12$), and stocking density was 30 fish per tank. During the experiment, water temperature was (22.5 ± 5.2) °C, dissolved oxygen was always more than 6.0 mg/L, and pH was (6.8 ± 0.1) . The fermented brewer's yeast supplementation did not significantly affect the survival, weight gain, feed intake, feed conversion ratio, retention efficiencies of carbon and nitrogen, condition factor, hepatosomatic index, and body composition (moisture, crude protein, crude lipid, ash, carbon, and phosphorus content) of the fish as well as the levels of carbon, nitrogen, and phosphorus wastes; concentration of ammonia and total phosphorus; and chemical oxygen demand in the tanks ($P>0.05$). Phosphorus retention efficiency declined with increasing fermented brewer's yeast supplementation ($P<0.05$). No significant differences were found in weight gain; feed intake; feed conversion ratio; retention efficiencies of carbon and nitrogen; contents of moisture, crude protein, and crude lipid in the whole body of the fish ($P>0.05$). Moreover, carbon waste levels between fish fed the RF diet and those fed the CH0, CH1, and CH2 diets were not significantly different ($P>0.05$). However, the ratio of fish meal consumption to fish production, hepatosomatic index, and body ash content in fish fed the RF diet was higher than that in fish fed the CH0, CH1, and CH2 diets ($P<0.05$). Phosphorus retention efficiency was higher ($P<0.05$), while the levels of carbon and nitrogen wastes were lower ($P<0.05$) in fish fed the RF diet than in those fed the CH1 and CH2 diets ($P<0.05$). Nutritional nitrogen accumulation was lower ($P<0.05$), while phosphorus accumulation was higher ($P<0.01$) than those calculated using the limnological method. This study reveals that dietary fish meal for largemouth bass can be reduced to 16% using cottonseed protein concentrate as a substitute. Adding 1% and 2% fermented brewer's yeast to the diet did not significantly improve growth and feed utilization efficiency or reduce waste outputs in largemouth bass farming.

Key words: *Micropterus salmoides*; fermented brewer's yeast; feed; growth; nitrogen waste; phosphorus waste; water quality

Corresponding author: WANG Yan. E-mail: ywang@zju.edu.cn