

复合动植物蛋白质饲料对大口黑鲈生长性能、肌肉品质及氮、磷排放的影响

谢帝芝 陈汉毅* 徐超 麻永财 李孟孟 叶儒锴 李远友**

(华南农业大学海洋学院,岭南现代农业科学与技术广东省实验室,广州 510642)

摘要:本课题组利用发酵豆粕和水解豆粕等多种陆生动物和植物蛋白质源按不同比例复配出2种复合动植物蛋白质饲料——CPro I和CPro II。为探讨CPro I和CPro II在大口黑鲈(*Microphterus salmoides*)养殖中的应用效果,配制含48% CPro I+30%鱼粉、48% CPro II+30%鱼粉的2种等氮(粗蛋白质含量为49%)等脂(粗脂肪含量为12%)的试验饲料(分别为D1和D2),同时以大口黑鲈商品饲料(D3)和冰鲜鱼(D4)为对照,利用此4种饲料对大口黑鲈开展8周的养殖试验。每种饲料投喂3个水族缸,每个水族缸放养50尾初始体重约为11.8 g的大口黑鲈幼鱼。结果显示:D2组的增重率和特定生长率与D3和D4组差异不显著($P>0.05$),且肝体比和饲料系数分别显著低于D3和D4组($P<0.05$),但D1组的增重率、特定生长率显著低于D4组($P<0.05$)。各组间血清高密度脂蛋白胆固醇、总胆固醇和甘油三酯含量无显著差异($P>0.05$),但D1、D2组的血清低密度脂蛋白胆固醇含量和碱性磷酸酶活性显著低于D3和D4组($P<0.05$);各组间血清和肝脏超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性以及总抗氧化能力无显著差异($P>0.05$),但D1、D2组血清和肝脏丙二醛含量显著低于D4组($P<0.05$)。与D3和D4组相比,D1、D2组肌肉剪切力显著降低($P<0.05$),肌肉持水率显著提高($P<0.05$)。此外,D1和D2组总氮排放量显著低于D4组($P<0.05$),且总磷排放量显著低于D3和D4组($P<0.05$)。上述结果表明,以CPro II为蛋白质源配制的饲料不仅对大口黑鲈具有良好的促生长效果,而且有利于肝脏健康,并可提高肌肉嫩度和粗蛋白质含量,减少氮、磷排放。

关键词:大口黑鲈;复合动植物蛋白质饲料;生长性能;肌肉品质;氮、磷排放

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)05-2836-12

鱼类不仅给人类提供了高质量的蛋白质,还提供了n-3长链多不饱和脂肪酸(n-3 HUFA)、维生素和矿物质,是全球食品篮子的重要组成部分。2015年,全球人均鱼类消费量达到20.2 kg,且将以0.3%的增长率持续升高^[1]。从1950年到2016年,全球鱼产品的年均产量(包括捕捞量和养殖产量)由1 900万t增长到1.69亿t,其中养殖鱼产量约占鱼类总产量的50%,到2030年,该指标将达到60%~70%^[2]。然而,过去20年的全球年均渔

业捕捞量已接近天然渔业资源的生产极限^[1]。因此,人类对鱼产品的需求将更依赖于水产养殖业的发展。

随着水产养殖业的快速发展,作为水产养殖产业链发展的基础——水产饲料行业也得以蓬勃发展。同时,海洋禁渔和环保政策的实施,进一步促进了水产饲料的普及率。作为水产配合饲料的重要原料,蛋白质含量高、氨基酸平衡的鱼粉是水产饲料的理想蛋白质源。但是,全球鱼粉产量有

收稿日期:2020-10-14

基金项目:广州优百特饲料科技有限公司“水产动物脂肪粉产品开发与推广应用”项目;国家自然科学基金项目(31602176)

作者简介:谢帝芝(1986—),男,湖南衡阳人,讲师,博士,从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: xiedi@scau.edu.cn

* 同等贡献作者

** 通信作者:李远友,教授,博士生导师,E-mail: yuli16@scau.edu.cn

限,年均约 500 万 t^[1];同时,鱼粉的供应又受到气候和金融因素的影响。因此,资源有限且供应不稳定的鱼粉,已无法持续满足不断增长的水产配合饲料业的需求,寻找合适的替代蛋白质源成为水产养殖业的研究热点之一。大量研究表明,豆粕、花生粕、鸡肉粉、肉骨粉和昆虫粉等传统的陆生动物或植物蛋白质源,以及微生物蛋白和餐饮残渣发酵蛋白等新型蛋白质源可应用到水产养殖中^[3-5]。然而,单一植物或动物蛋白质源因存在营养不平衡、抗营养因子等负面因素,过量替代鱼粉后导致饲料利用率低,影响养殖鱼类健康生长^[6]。因此,具有营养更均衡、适口性强等优点的复合动植物蛋白质源备受水产饲料行业研究者的关注^[7-9]。

大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 又名加州鲈,属鲈形目,具有肉质鲜嫩、细刺少、摄食凶猛、长势迅速、可驯化食用配合饲料等特点。近年来,大口黑鲈年产量高达 40 多万 t,已成为我国重要的淡水经济鱼类之一。然而,同其他肉食性鱼类一样,大口黑鲈对蛋白质的需求量较高(45%~50%),其商品饲料中鱼粉添加量高达 40%~50%,导致商品饲料的定价普遍较高(1.1~1.3 万元/t),养殖利润空间小;同时,当冰鲜鱼价格低时,更多养殖户选择冰鲜鱼做饵料,这严重限制了大口黑鲈养殖业的可持续健康发展。近期,本课题组研发出 2 种复合动植物蛋白质饲料(包含发酵豆粕和水解豆粕在内的几种陆生动物和植物蛋白质源按不同比例构成)——CPro I 和 CPro II,研究显示其可有效地替代鲈形目的肉食性海水鱼——卵形

鲳鲈 (*Trachinotus ovatus*) 配合饲料中 40%~80% 的鱼粉,且可显著降低其氮、磷排放^[10-11]。为探讨 CPro I 和 CPro II 在大口黑鲈(鲈形目)中的应用效果,本试验以大口黑鲈商品饲料和冰鲜鱼为对照,研究复合动植物蛋白质饲料 CPro I 和 CPro II 对大口黑鲈生长性能、肌肉品质以及氮、磷排放的影响,以期开发经济高效的大口黑鲈配合饲料提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

以包括发酵豆粕和水解豆粕在内的几种陆生动物和植物蛋白质源按不同比例配制的复合动植物蛋白质饲料 CPro I 或 CPro II^[10-11] 及鱼粉为蛋白质源,以脂肪粉^[12] (含 40.0% 膨化玉米粉与 60.0% 复合油,复合油由鱼油、豆油、油菜籽、紫苏油和磷脂以及少量乳化剂、抗氧化剂混合而成) 为脂肪源,配制 2 种等氮(粗蛋白质含量约为 48.0%) 等脂(粗脂肪含量约为 12.0%) 的试验饲料(D1、D2),其组成及营养水平见表 1。饲料原料经粉碎后过 60 目筛,用搅拌机均匀混合后封装于密封塑料袋中,并放置在 -20 °C 贮存。投喂前,在称量后的粉料中加入 30% 左右水,揉合均匀,使其具备一定黏性与弹性,然后使用软颗粒机将其制成长条形沉性颗粒,直径相当于大口黑鲈口径的 1/4~1/3,饲料颗粒大小随大口黑鲈生长阶段进行调整。同时以大口黑鲈商品饲料(D3)和冰鲜鱼(包括青天兰、鳀鱼等海水野杂鱼,D4)为对照饲料,其营养水平见表 1。

表 1 饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of diets (air-dry basis)

%

项目 Items	饲料 Diets			
	D1	D2	D3	D4
原料 Ingredients				
鱼粉 Fish meal	30.00	30.00		
CPro I	48.00			
CPro II		48.00		
脂肪粉 Fat powder	12.00	12.00		
玉米淀粉 Corn starch	3.66	3.66		
麦糠 Wheat bran	2.32	2.32		
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄)	1.00	1.00		
氯化胆碱 Choline chloride	0.50	0.50		
乙氧基喹啉 Ethoxyquinoline	0.02	0.02		
维生素预混料 Vitamin premix ¹⁾	1.00	1.00		

续表 1

项目 Items	饲料 Diets			
	D1	D2	D3	D4
矿物质预混料 Mineral premix ²⁾	1.50	1.50		
合计 Total	100.00	100.00		
营养水平 Nutrient levels ³⁾				
干物质 Dry matter	91.31	90.63	91.61	90.92
粗蛋白质 Crude protein	48.29	48.90	53.95	58.18
粗脂肪 Crude lipid	12.54	12.06	16.07	29.62
粗灰分 Ash	12.62	13.05	14.92	13.32
磷 Phosphorus	0.53	0.59	0.77	1.26

1) 每千克维生素预混料含有 One kg of vitamin premix contained the following: VA 230 000 IU, VD 1 600 000 IU, VE 16 g, VK₃ 5 g, VB₁ 4 g, 核黄素 riboflavin 10 g, 吡哆醇 pyridoxine 5 g, 烟酰胺 nicotinamide 30 g, D-泛酸钙 D-calcium pantothenate 16 g, 肌醇 inositol 40 g, 叶酸 folic acid 1.285 g, 生物素 biotin 0.006 4 g。

2) 每千克矿物质预混料含有 One kg of mineral premix contained the following: Ca 230 g, K 36 g, Mg 9 g, Fe 10 g, Zn 8 g, Mn 1.9 g, Cu 1.5 g, Co 0.25 g, I 0.032 g, Se 0.05 g。

3) 营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.

1.2 试验鱼和试验设计

大口黑鲈幼鱼购于佛山市顺德区东民水产养殖有限公司,并于佛山市晴朗水产养殖科技有限公司的养殖池中驯养 2 周,期间采用商品饲料和试验饲料等比例混合的饲料投喂。养殖试验开始前,禁食 24 h,经 0.01% MS-222 麻醉后,选取大小均匀、健康的大口黑鲈幼鱼 600 尾[初始体重 (11.83±0.12) g],随机分配至 12 个水族缸(直径 1.5 m,高 2.0 m)中,每缸 50 尾鱼,每种饲料投喂 3 缸,进行为期 8 周养殖。养殖期间,每天饱食投喂 4 次(08:00、12:00、16:00 和 20:00)。为保持良好的水质状况,每天换水 1 次(换水量为总体积的 1/2);每天除投料、换水外,其余时间持续充气增氧,使水体溶氧浓度高于 6 mg/L,温度在 (23±1) °C, pH 保持在 7.0±0.4,氨氮浓度低于 0.2 mg/L。

1.3 样品采集

养殖试验开始前,取 8 尾鱼,经液氮速冻后保存于-80 °C 冰箱中,用于后续的初始样品成分分析。养殖试验结束后,禁食 24 h,试验鱼经 0.01% MS-222 麻醉后逐一称重,统计终末体重;从每缸随机取 3 尾鱼,采用尾静脉取血,并分离其肝脏、肌肉,于液氮中速冻,保存于-80 °C 冰箱中,供后续指标分析;每缸另随机取 3 尾鱼,称量其内脏团、肝脏重,计算肝体比和脏体比;每缸另随机取 4 尾鱼,分别用于肌肉品质以及肌肉和全鱼常规成分测定。

1.4 常规成分测定

饲料、全鱼和肌肉的粗水分、粗灰分、粗蛋白质和粗脂肪分别采用常压干燥法(GT/T 6435—2014)、马弗炉灼烧法(GB/T 6438—2007)、凯氏定氮法(GB/T 6432—2018)、索氏抽提法(GB/T 6433—2006)测定,磷含量采用钼黄显色光度法(GB/T 6437—2002)测定。

1.5 血清生化指标以及血清和肝脏抗氧化指标测定

测定前,冷冻的血清和肝脏样本先于 4 °C 解冻。血清中总胆固醇(T-CHO)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、甘油三酯(TG)含量以及碱性磷酸酶(AKP)活性,血清和肝脏中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性、总抗氧化能力(T-AOC)及丙二醛(MDA)含量均采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定,测定步骤参见相关试剂盒说明书。

1.6 肌肉质构特性和可食用品质测定

肌肉质构特性测定指标包括剪切力、硬度、弹性、咀嚼性、胶着性、回复性,采用质构仪(Universal TA 型,上海腾拔仪器科技有限公司)测定。选定试验鱼背肌,在 TPA 模式下,装载 TA 25/1000 圆柱形探头,测试前速度 2.00 mm/s,测试速度 1.00 mm/s,测试后速度 2.00 mm/s,压缩比 75%,探头 2 次压缩间隔 2 s,测定上述肌肉质构特性指标。

肌肉的可食用品质包括熟肉率(COP)和持水

率(WHC)。肌肉熟肉率测定:取约5g背肌置于煮沸的水中,5min后取出,采用滤纸吸干表面水分,冷却后称重,熟肉和生肉重量比率即为肌肉熟肉率。肌肉持水率测定:取约5g背肌置于定性滤纸上,其上覆盖另一张滤纸,用1kg砝码挤压5min后称取肌肉的质量,所含水分占原肌肉百分比即为肌肉持水率。

1.7 计算公式

鱼体增重率、特定生长率、饲料系数、肝体比、脏体比和存活率以及氮、磷储存效率和总氮、总磷排放量等指标参照以下公式计算:

$$\text{增重率(WGR, \%)} = 100 \times (\text{终末体重} - \text{初始体重}) / \text{初始体重};$$

$$\text{特定生长率(SGR, \% / d)} = 100 \times (\ln \text{终末体重} - \ln \text{初始体重}) / \text{养殖天数};$$

$$\text{饲料系数(FCR)} = \text{鱼体湿增重} / \text{采食干饲料重};$$

$$\text{存活率(SR, \%)} = 100 \times \text{试验结束时活鱼数} / \text{试验开始时活鱼数};$$

$$\text{肝体比(HSI, \%)} = 100 \times \text{肝脏重} / \text{终末体重};$$

$$\text{脏体比(VSI, \%)} = 100 \times \text{内脏团重} / \text{终末体重};$$

$$\text{肥满度(CF, g/cm}^3\text{)} = 100 \times \text{终末体重} / \text{终末体长}^3;$$

$$\text{蛋白质效率(PER, \%)} = 100 \times (\text{终末体重} - \text{初始体重}) / (\text{饲料投喂量} \times \text{初始鱼体粗蛋白质含量});$$

$$\text{肌肉熟肉率(\%)} = 100 \times \text{煮熟肌肉质量} / \text{生肌肉质量};$$

$$\text{肌肉持水率(\%)} = 100 \times (\text{失水后肌肉质量} - \text{失水前肌肉质量}) / \text{失水前肌肉质量};$$

$$\text{氮储存效率(NRE, \%)} = 100 \times (\text{终末体重} \times \text{终末鱼体粗蛋白质含量} - \text{初始体重} \times \text{初始鱼体粗蛋白质含量} + \text{死鱼体重} \times \text{初始鱼体粗蛋白质含量}) / (\text{饲料投喂量} \times \text{饲料粗蛋白质含量});$$

$$\text{磷储存效率(PRE, \%)} = 100 \times (\text{终末体重} \times \text{终末鱼体磷含量} - \text{初始体重} \times \text{初始鱼体磷含量} + \text{死鱼体重} \times \text{初始鱼体磷含量}) / (\text{饲料投喂量} \times \text{饲料磷含量});$$

$$\text{总氮排放量(TNW, g/kg 增重)} = 1\,000 \times (\text{饲料投喂量} \times \text{饲料粗蛋白质含量}) \times (1 - \text{氮储存效率} / 100) / [(\text{终末体重} + \text{死鱼体重} - \text{初始体重}) \times 6.25];$$

$$\text{总磷排放量(TPW, g/kg 增重)} = 1\,000 \times (\text{饲料投喂量} \times \text{饲料磷含量}) \times (1 - \text{磷储存效率} / 100) / (\text{终末体重} +$$

死鱼体重 - 初始体重)。

1.8 统计分析

试验数据以平均值±标准误(mean±SE)表示,采用SPSS 21.0软件的ANOVA程序进行方差分析,并用Duncan氏法进行多重比较,以 $P < 0.05$ 作为差异显著标准。

2 结果与分析

2.1 生长性能

分析各组大口黑鲈的生长性能指标(表2)后发现,各组间试验鱼的存活率和脏体比无显著差异($P > 0.05$)。与D3组和D4组相比,D2组的增重率、特定生长率和肥满度虽然有下降趋势,但差异不显著($P > 0.05$),且饲料系数和肝体比分别显著低于D4和D3组($P < 0.05$)。D1组的增重率、特定生长率显著低于D4组($P < 0.05$),但与D2和D3组无显著差异($P > 0.05$)。以上结果说明,含CPro II饲料对大口黑鲈的促生长效果与商品饲料和冰鲜鱼相当,且同时可降低饲料系数和肝体比,有利于大口黑鲈的健康和提高养殖效益。

2.2 全鱼和肌肉常规成分

由表3可知,在全鱼常规成分方面,各组间的水分、粗灰分和磷含量无显著差异($P > 0.05$),D1和D2组粗蛋白质含量显著高于D3和D4组($P < 0.05$),而其粗脂肪含量显著低于D4组($P < 0.05$)。在肌肉常规成分方面,各组间的水分、粗脂肪和粗灰分含量无显著差异($P > 0.05$),但D1、D2组的粗蛋白质含量较高,且显著高于D3组($P < 0.05$)。以上结果说明,含CPro I和CPro II饲料有助于提高大口黑鲈肌肉的粗蛋白质含量,改善肌肉营养品质。

2.3 血清生化指标

各组大口黑鲈的血清生化指标结果见表4。与D3组相比,D1、D2组血清HDL-C、T-CHO、TG含量无显著变化($P > 0.05$),而LDL-C含量显著降低($P < 0.05$);与D4组相比,D1、D2组血清HDL-C和TG含量无显著变化($P > 0.05$),但T-CHO、LDL-C含量与AKP活性显著降低($P < 0.05$)。

2.4 血清和肝脏抗氧化指标

各组大口黑鲈的血清和肝脏抗氧化指标见表5。各组间血清和肝脏SOD和CAT活性无显著差异($P > 0.05$)。在血清抗氧化指标方面,与D3组相比,D1、D2组血清T-AOC和MDA含量均显

著降低 ($P < 0.05$) ; 与 D4 组相比, D1、D2 组血清 T-AOC 无显著变化 ($P > 0.05$), 但 MDA 含量显著降低 ($P < 0.05$)。在肝脏抗氧化指标方面, 与 D3

和 D4 组相比, D1、D2 组肝脏 T-AOC 无显著变化 ($P > 0.05$), 但 MDA 含量明显降低, 且显著低于 D4 组 ($P < 0.05$)。

表 2 饲喂不同饲料 8 周后大口黑鲈的生长性能

Table 2 Growth performance of *Micropterus salmoides* fed different diets for 8 weeks

项目 Items	组别 Groups			
	D1	D2	D3	D4
初始体重 IBW/g	11.91±0.09	11.70±0.08	11.76±0.14	11.97±0.13
终末体重 FBW/g	68.35±1.78 ^a	70.72±1.56 ^{ab}	74.85±4.01 ^{ab}	77.27±1.21 ^b
增重率 WGR/%	471.85±12.21 ^a	504.77±16.20 ^{ab}	536.58±34.40 ^{ab}	545.73±6.45 ^b
特定生长率 SGR/(%/d)	3.42±0.04 ^a	3.53±0.05 ^{ab}	3.62±0.11 ^{ab}	3.66±0.02 ^b
蛋白质效率 PER/%	1.99±0.02 ^a	1.98±0.04 ^a	1.90±0.10 ^{ab}	1.76±0.05 ^b
饲料系数 FCR	1.04±0.02 ^a	1.03±0.02 ^a	0.98±0.05 ^a	3.03±0.08 ^b
存活率 SR/%	98.00±1.15	96.00±2.00	96.67±2.40	94.67±1.76
肥满度 CF/(g/cm ³)	2.00±0.06	1.92±0.05	2.19±0.20	2.06±0.07
肝体比 HSI/%	1.31±0.16 ^b	1.60±0.14 ^b	2.04±0.10 ^c	1.16±0.12 ^a
脏体比 VSI/%	9.31±0.37	9.99±1.56	8.83±0.57	8.32±0.38

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$), 肩标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下表同。

Values in the same row with no or the same letter superscripts indicated no significant difference ($P > 0.05$), while with different letter superscripts indicated significant difference ($P < 0.05$). The same as below.

表 3 饲喂不同饲料 8 周后大口黑鲈的全鱼和肌肉常规成分(干物质基础)

Table 3 Proximate composition of whole fish and muscle of *Micropterus salmoides* fed different diets for 8 weeks (DM basis)

项目 Items	组别 Groups			
	D1	D2	D3	D4
全鱼 Whole body				
水分 Moisture	71.90±0.50	71.65±0.25	71.60±0.23	69.72±0.62
粗蛋白质 Crude protein	57.78±0.92 ^c	57.64±0.26 ^c	55.07±0.45 ^b	52.49±1.22 ^a
粗脂肪 Crude lipid	26.78±0.89 ^a	26.76±0.68 ^a	28.21±0.53 ^a	31.60±1.13 ^b
粗灰分 Ash	12.29±0.31	11.92±0.25	11.82±0.20	11.63±0.40
磷 Phosphorus	0.75±0.02	0.73±0.02	0.72±0.01	0.74±0.03
肌肉 Muscle				
水分 Moisture	77.27±0.27	77.34±0.29	76.63±0.23	76.59±0.46
粗蛋白质 Crude protein	87.40±0.70 ^b	86.77±0.57 ^b	84.20±0.72 ^a	85.48±0.80 ^{ab}
粗脂肪 Crude lipid	4.87±0.59	4.84±0.47	5.34±0.46	5.42±0.65
粗灰分 Ash	5.49±0.10 ^{ab}	5.78±0.11 ^b	5.44±0.12 ^a	5.27±0.11 ^a

表 4 饲喂不同饲料 8 周后大口黑鲈的血清生化指标

Table 4 Serum biochemical indexes of *Micropterus salmoides* fed different diets for 8 weeks

项目 Items	组别 Groups			
	D1	D2	D3	D4
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C/(mmol/L)	0.88±0.16 ^a	1.33±0.21 ^a	2.09±0.19 ^b	5.12±0.18 ^c
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/(mmol/L)	2.65±0.15	2.35±0.11	2.36±0.13	3.09±0.19
总胆固醇 T-CHO/(mmol/L)	8.84±0.30 ^a	8.73±0.64 ^a	9.58±0.70 ^a	12.54±0.65 ^b

续表 4

项目 Items	组别 Groups			
	D1	D2	D3	D4
甘油三酯 TG/(mmol/L)	1.43±0.10	1.31±0.23	1.65±0.42	1.79±0.22
碱性磷酸酶 AKP/(U/L)	65.96±2.30 ^a	59.94±3.95 ^a	71.69±0.94 ^b	74.80±1.75 ^b

表 5 饲喂不同饲料 8 周后大口黑鲈的血清和肝脏抗氧化指标

Table 5 Serum and liver antioxidant indexes of *Micropterus salmoides* fed different diets for 8 weeks

项目 Items	组别 Groups			
	D1	D2	D3	D4
血清 Serum				
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	14.83±0.34	12.32±0.67	14.27±0.93	12.70±2.69
过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	2.63±0.06	2.63±0.13	2.59±0.21	2.54±0.19
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	2.37±0.05 ^a	2.71±0.14 ^a	3.05±0.13 ^b	2.30±0.06 ^a
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	21.60±0.65 ^a	26.17±2.73 ^{ab}	35.81±5.99 ^{bc}	45.74±4.75 ^c
肝脏 Liver				
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mg port)	105.24±2.39	102.85±6.21	104.76±2.90	97.79±7.53
过氧化氢酶 CAT/(U/mg port)	21.99±2.07	24.75±1.19	22.35±2.30	26.05±3.68
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mg port)	14.83±2.38 ^{ab}	17.49±1.30 ^{ab}	18.76±2.14 ^b	12.60±1.22 ^a
丙二醛 MDA/(nmol/mg port)	1.99±0.24 ^a	2.42±0.23 ^{ab}	3.05±0.20 ^{bc}	3.81±0.61 ^c

2.5 肌肉质构特性和可食用品质

各组大口黑鲈的肌肉质构特性和可食用品质见表 6。不同饲料对大口黑鲈肌肉硬度、弹性、咀嚼性、胶着性、回复性和熟肉率的影响较少,各组

间无显著差异 ($P>0.05$)。相比于 D3 和 D4 组, D1、D2 组肌肉剪切力显著降低 ($P<0.05$), 肌肉持水率显著升高 ($P<0.05$)。上述结果说明含 CProI 和 CProII 饲料有利于提高大口黑鲈肌肉的嫩度。

表 6 饲喂不同饲料 8 周后大口黑鲈的肌肉质构特性和可食用品质

Table 6 Muscle textural properties and edible quality of *Micropterus salmoides* fed different diets for 8 weeks

项目 Items	组别 Groups			
	D1	D2	D3	D4
质构特性 Textural properties				
剪切力 Tenderness/gf	384.20±23.15 ^a	455.25±15.94 ^{ab}	571.50±33.18 ^c	511.50±26.06 ^{bc}
硬度 Hardness/gf	219.50±10.66	217.33±10.92	213.33±7.80	228.33±10.35
弹性 Springiness/mm	0.08±0.01	0.12±0.02	0.10±0.01	0.16±0.03
咀嚼性 Chewiness/mJ	9.05±2.80	10.71±2.91	9.72±1.38	12.62±3.52
胶着性 Gumminess/mJ	70.60±5.63	71.30±6.92	75.17±4.08	88.22±6.15
回复性 Resilience	0.95±0.04	0.90±0.03	0.79±0.06	0.87±0.03
可食用品质 Edible quality				
熟肉率 COP/%	78.27±2.65	77.91±1.82	76.31±1.15	77.88±1.36
持水率 WHC/%	85.66±2.71 ^c	81.28±2.28 ^{bc}	79.70±1.03 ^{ab}	76.28±1.88 ^a

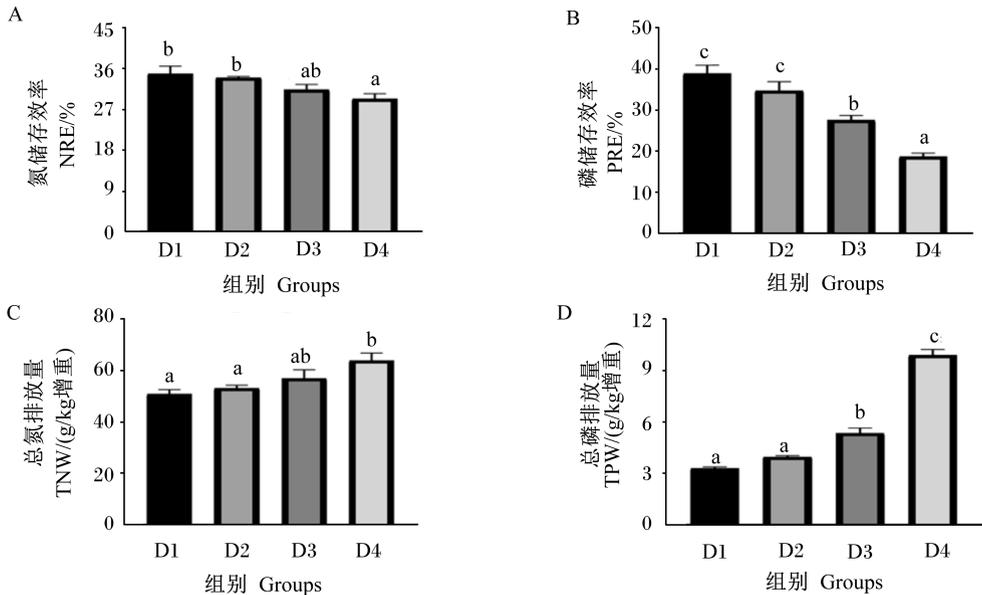
2.6 氮、磷储存效率以及总氮、总磷排放量

各组大口黑鲈的氮、磷储存效率以及总氮、总磷排放量见图 1。与 D4 组相比, D1、D2 组的氮、

磷储存效率均显著升高 ($P<0.05$) (图 1-A、图 1-B), 总氮、总磷排放量均显著降低 ($P<0.05$) (图 1-C、图 1-D)。D1 和 D2 组的氮储存效率和

总氮排放量与 D3 组无显著差异 ($P>0.05$) (图 1-A、图 1-C), 但磷储存效率显著升高 ($P<0.05$) (图 1-B), 总磷排放量显著降低 ($P<0.05$) (图 1-

D)。以上结果表明, 含 CPro I 和 CPro II 饲料更有利于养殖水环境保护。



数据柱标注不同字母表示显著差异 ($P<0.05$)。

Data columns with different letters mean significant difference ($P<0.05$).

图 1 饲喂不同饲料 8 周后大口黑鲈的氮、磷储存效率以及总氮、总磷排放量

Fig.1 NRE, PRE, TNW and TPW of *Micropterus salmoides* fed different diets for 8 weeks

3 讨论

本研究探讨了复合动植物蛋白质饲料 CPro I 和 CPro II 作为蛋白质源应用于在大口黑鲈养殖中的可行性。基于对大口黑鲈生长性能、抗氧化指标、肌肉品质以及氮、磷排放等指标的测定结果, 发现含 CPro II 饲料 (D2 组) 具有和冰鲜鱼和商品饲料一样的促生长效果, 且其有利于提高肌肉的粗蛋白质含量和嫩度, 以及养殖水环境保护, 说明 CPro II 可作为饲料蛋白质源应用于大口黑鲈养殖中。

蛋白质是水产动物饲料中的主要营养物质, 也是影响饲料原料成本的主要因素。在水产配合饲料众多的蛋白质原料中, 营养均衡的鱼粉是养殖鱼类最优质的蛋白质源。然而, 鱼粉资源有限且价格波动较大, 严重制约了水产养殖业的可持续发展。近十几年来, 鱼粉替代技术一直是水产饲料界研究的热点。鱼粉替代并非简单地引入新的蛋白质原料, 而是基于营养素平衡、养殖鱼种类及其健康的综合考虑。例如, 来源广泛、价格合理

的陆生植物蛋白质源可完全满足罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* L.)、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)、团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 和鲤鱼 (*Cyprinus carpio* L.) 等非肉食性鱼类生长的需求^[6,13-15]。然而, 不同食性鱼类的营养需求不一致, 肉食性鱼类对饲料蛋白质的需求相对较高, 氨基酸不平衡的植物蛋白质 (赖氨酸和蛋氨酸缺乏) 过量替代鱼粉会造成一系列的负面影响, 如生长性能下降、免疫机能降低、肉质劣化等^[16-19]。为了降低植物蛋白质过量替代鱼粉产生的负面影响, 越来越多的研究趋于采用营养更均衡的复合动植物蛋白质源替代饲料中的鱼粉。林仕梅等^[20]报道, 复合动植物蛋白质饲料替代 12% 的鱼粉 (基础饲料鱼粉添加量为 45%) 不会影响杂交鳊 (*Channa argus* ♀ × *Channa maculata* ♂) 的生长性能, 而高水平替代鱼粉的条件下, 杂交鳊的特定生长率与饲料系数显著降低; 胡鹏莉等^[21]报道, 复合动植物蛋白质饲料替代 20% 鱼粉 (基础饲料鱼粉添加量为 35%) 对花鲈 (*Lateolabrax maculatus*) 的生长性能无显著影响。在大菱鲃 (*Scophthalmus*

maximus L.) 幼鱼基础饲料(鱼粉添加量为60%)中,采用豆粕:花生粕:鱼溶浆粉:鸡肉粉(2:1:3:2)组成的复合动植物蛋白质饲料替代50%的鱼粉对大菱鲂的生长性能无负面影响^[22]。相似的,本研究发现,与商品饲料和冰鲜鱼相比,在含30%鱼粉饲料中添加48%的复合动植物蛋白质饲料 CPro II 对大口黑鲈的生长性能无显著影响,并可提高饲料利用率。同时,本课题组前期研究表明,CPro I 和 CPro II 可以替代卵形鲳鲹饲料(鱼粉添加量为30%)中60%~80%的鱼粉^[10]。以上结果表明,相比于植物蛋白质饲料,营养更全面的复合动植物蛋白质饲料更有利于肉食性鱼类的生长。

在大口黑鲈养殖生产中,养殖后期易出现脂肪肝,因此被行业称为“天生的脂肪肝患者”。一般认为,这种现象是因为其配合饲料中粗脂肪和粗蛋白质含量较高,而高密度养殖条件下,高脂肪和蛋白质饲料易造成养殖鱼肝脏脂肪蓄积异常、免疫力下降、代谢紊乱等症状。研究表明,大口黑鲈对饲料蛋白质和脂肪的适宜需求量分别为48%~51%和12%^[23-24]。本研究中,含 CPro I 和 CPro II 饲料的蛋白质和脂肪水平都在适宜范围内,饲喂含 CPro I 和 CPro II 饲料的大口黑鲈血清 LDL-C 和 T-CHO 含量显著低于饲喂商业饲料和冰鲜鱼(蛋白质和脂肪水平超出适宜范围)的大口黑鲈,且其肝体比显著低于饲喂商业饲料的大口黑鲈。朱婷婷等^[23]研究发现,饲料脂肪水平由5.76%升高到11.05%或17.65%,大口黑鲈血清中 T-CHO 和低密度脂蛋白(LDL)含量均显著升高,当脂肪水平大于11.05%时,其肝脏脂肪积累增多。当机体脂肪代谢紊乱,肝脏脂肪异常蓄积,易发生氧化应激,导致肝细胞受损。当机体肝脏受损时,与脂质、蛋白质等代谢有关的 AKP 的活性会显著升高^[25]。本研究中,D1 和 D2 组血清 AKP 活性显著低于饲喂商品饲料和冰鲜鱼的2个对照组。这与其他研究结果基本一致,随着饲料脂肪水平的升高,大口黑鲈和罗非鱼血清中 AKP 活性表现为升高的趋势^[23,25]。SOD 和 CAT 是生物抗氧化酶的重要组成酶类,同 T-AOC 和 MDA 作为评价机体抗氧化能力和氧化损伤程度的重要指标^[26-27]。本研究中,2个试验组(D1 和 D2 组)大口黑鲈血清和肝脏 SOD 和 CAT 活性以及 T-AOC 与2个对照组(D3 和 D4 组)无显著差异,而其血清和肝脏 MDA 含量显著低于饲喂冰鲜鱼的对照

组,分析原因可能是由于冰鲜鱼中的脂肪被腐败氧化产生有害物质,而长期投喂冰鲜鱼易导致鱼体肝脏抗受损,造成组织中 MDA 含量增多^[28]。以上结果表明,含 CPro I 和 CPro II 饲料更有利于维持大口黑鲈肝脏健康。

肌肉的基本营养成分、质构特性、可食用品质是评价肌肉品质的重要参考指标。相比于商品饲料和冰鲜鱼,以复合动植物蛋白质饲料 CPro I 或 CPro II 为蛋白质源配制的饲料显著提升了大口黑鲈全鱼和肌肉粗蛋白质含量,其原因可能是商品饲料在粗蛋白质含量高于大口黑鲈适宜的蛋白质需求量^[24],导致多余的蛋白质通过脱氨基的作用分解供能,降低了鱼体蛋白质利用率,最终导致鱼体蛋白质沉积量下降^[29]。骆艺文^[30]在军曹鱼(*Rachycentron canadum*)上的研究发现,随着饲料蛋白质水平的升高,蛋白质效率和蛋白质储积率反而下降。相比于 D3 和 D4 组,D1 和 D2 组大口黑鲈肌肉硬度、咀嚼性、胶着性、弹性和回复性等质构特性以及熟肉率无显著变化。相似结果也出现在大菱鲂相关研究中,酶解动物软骨蛋白粉、小麦粉、豆粕等动植物蛋白质源替代40%鱼粉对大菱鲂肌肉硬度、咀嚼性和弹性等质构特性没有显著影响^[6]。大口黑鲈以鱼肉鲜嫩著称,相比于商品饲料和冰鲜鱼,含 CPro I 和 CPro II 饲料可显著降低肌肉剪切力,提高其持水率,进一步提升了鱼肉的嫩度。

优质环保饲料已成为现代生态渔业可持续发展的重要保障,其不仅能够促进鱼类的生长,还能保护环境或减轻养殖环境压力。氮、磷排放是水产养殖中水富营养化的主要原因,可通过制定符合水产养殖品种营养需求的标准降低氮、磷排放^[31]。本研究中含 CPro II 饲料试验组的生长效果与商品饲料和冰鲜鱼对照组一致,且其总氮排放量显著低于冰鲜鱼对照组,总磷排放量显著低于商品饲料和冰鲜鱼对照组。含 CPro II 饲料能显著降低大口黑鲈氮、磷排放的原因:1)含 CPro II 饲料的粗蛋白质含量(48.90%)更接近大口黑鲈适宜的蛋白质需求量^[28],而冰鲜鱼和商品饲料的粗蛋白质含量分别为58.18%和53.95%,已有研究显示饲料蛋白质水平过高会提高硬骨鱼类血氨水平,产生大量氨氮代谢物,造成水体污染^[32-33];2)含 CPro II 饲料的磷含量(0.59%)更接近大口黑鲈适宜的磷需求量(0.66%)^[34],比冰鲜鱼和商品饲料

分别低 23.58% 和 53.17%。相似的是,将罗非鱼饲料中磷含量从 1.20% 降至 0.80%,可使养殖水体磷含量降低 55%,且不影响动物的生长性能^[35]。以上结果表明,相对于商品饲料和冰鲜鱼,本研究配制的含 CPro II 饲料的环境效益更高。

4 结 论

相比于商品饲料和冰鲜鱼,含 CPro II 饲料对大口黑鲈具有一样的促生长效果,且更有利于维持肝脏健康(较低的肝体比和肝脏 MDA 含量);此外,含 CPro II 饲料可进一步提高大口黑鲈肌肉粗蛋白质含量和鲜嫩度,提高氮、磷储存效率,降低氮、磷排放,减少对蛋白质资源的浪费和对环境的污染。以上结果表明,以 CPro II 为蛋白质源配制的饲料对大口黑鲈具有良好的促生长效果,且在肌肉品质以及养殖环境效益上都优于商品饲料与冰鲜鱼,可应用于大口黑鲈养殖。

参考文献:

- [1] FAO. The state of world fisheries and aquaculture: meeting the sustainable development goals [R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.
- [2] SUBASINGHE R, SOTO D, JIA J S. Global aquaculture and its role in sustainable development [J]. Reviews in Aquaculture, 2009, 1(1): 2-9.
- [3] GASCO L, GAI F, MARICCHIOLO G, et al. Fishmeal alternative protein sources for aquaculture feeds [M] // Feeds for the aquaculture sector. Cham: Springer, 2018: 1-28.
- [4] DANI D. A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources [J]. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies, 2018, 6(2): 164-179.
- [5] SAMADDAR A. A review of fish meal replacement with fermented biodegradable organic wastes in aquaculture [J]. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies, 2018, 6(6): 203-208.
- [6] MOKRANI A, LIANG H L, CHISOMO-KASIYA H, et al. Complete replacement of fish meal by plant protein ingredients with dietary essential amino acids supplementation for juvenile blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2019, 25(3/4): 205-214.
- [7] 陈任孝, 李洪琴, 罗莉, 等. 血粉复合发酵蛋白替代鱼粉对彭泽鲫的生长性能和肝脏功能的影响 [J]. 淡水渔业, 2013, 43(2): 54-59.
- [8] CHEN R X, LI H Q, LUO L, et al. Effects of replacing fish meal with fermented blood meal protein in the diet for Pengze crucian carp (*Carassius auratus*) on growth performance and liver function [J]. Freshwater Fisheries, 2013, 43(2): 54-59. (in Chinese)
- [8] 刘运正, 何良, 麦康森, 等. 新型复合动植物蛋白源部分替代鱼粉对大菱鲂幼鱼生长和肉质的影响 [J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2016, 46(1): 33-39.
- [9] LIU Y Z, HE G, MAI K S, et al. Effect of replacement of dietary fishmeal with an animal and plant protein mixture on the growth performance and muscle texture of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. Periodical of Ocean University of China (Natural Science Edition), 2016, 46(1): 33-39. (in Chinese)
- [9] 王飞. 卵形鲳鲷饲料最适蛋白和脂肪需求及添加不同动植物原料的研究 [D]. 硕士学位论文. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- [9] WANG F. Study on the optimum protein and lipid requirement and supplementation with animal and plant ingredient in feeds for golden pompano *Trachinotus ovatus* [D]. Master's Thesis. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012. (in Chinese)
- [10] MA Y C, LI M M, XIE D Z, et al. Fishmeal can be replaced with a high proportion of terrestrial protein in the diet of the carnivorous marine teleost (*Trachinotus ovatus*) [J]. Aquaculture, 2020, 519: 734910.
- [11] MA Y C, XU C, LI M M, et al. Diet with a high proportion replacement of fishmeal by terrestrial compound protein displayed better farming income and environmental benefits in the carnivorous marine teleost (*Trachinotus ovatus*) [J]. Aquaculture Reports, 2020, 18: 100449.
- [12] XIE D Z, WANG M, WANG S Q, et al. Fat powder can be a feasible lipid source in aquafeed for the carnivorous marine teleost golden pompano, *Trachinotus ovatus* [J]. Aquaculture International, 2020, 28(3): 1153-1168.
- [13] OGELLO E O, MUNGUTI J M, SAKAKURA Y, et al. Complete replacement of fish meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) grow-out with alternative protein sources. A review [J]. International Journal of Advanced Research, 2014, 2(8): 962-978.
- [14] 严全根, 朱晓鸣, 杨云霞, 等. 饲料中棉粕替代鱼粉蛋白对草鱼的生长、血液生理指标和鱼体组成的影响

- [J].水生生物学报,2014,38(2):362-369.
- YAN Q G,ZHU X M,YANG Y X, et al.Effect of replacement of fish meal with cottonseed meal on growth, hematological physiology, and body composition of grass carp [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2014, 38(2), 362-369. (in Chinese)
- [15] PONGMANEERAT J, WATANABE T, TAKEUCHI T, et al. Use of different protein meals as partial or total substitution for fish meal in carp diets [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1993, 59(7): 1249-1257.
- [16] 徐奇友,王常安,许红,等.大豆分离蛋白替代鱼粉对哲罗鱼稚鱼生长、体成分和血液生化指标的影响[J].水生生物学报,2008,32(6):941-946.
- XU Q Y, WANG C A, XU H, et al. Effects of replacing fish meal with soy protein isolated on the growth performance, body composition and biochemical indexes of juvenile *Huchao taimen* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2008, 32(6), 941-946. (in Chinese)
- [17] HARDY R W. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal [J]. Aquaculture Research, 2010, 41(5): 770-776.
- [18] 张志勇,薛敏,王嘉,等.混合植物蛋白质替代鱼粉对花鲈和西伯利亚鲟生长和肉质影响的比较研究[J].动物营养学报,2013,25(6):1260-1275.
- ZHANG Z Y, XUE M, WANG J, et al. Effects of fish meal replacement by plant protein blend on growth and flesh quality of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) and Siberian sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2013, 25(6): 1260-1275. (in Chinese)
- [19] ZHANG Y, CHEN P, LIANG X F, et al. Metabolic disorder induces fatty liver in Japanese seabass, *Lateolabrax japonicas* fed a full plant protein diet and regulated by cAMP-JNK/NF- κ B-caspase signal pathway [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2019, 90: 223-234.
- [20] 林仕梅,马卉佳,徐韬,等.复合蛋白源替代鱼粉对杂交鳢生长、体组成与生化指标的影响[J].水产学报,2018,42(5):744-753.
- LIN S M, MA H J, XU T, et al. Effects of replacing fish meal with compound proteins on the growth, body composition and biochemical indices of hybrid snakehead [J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(5): 744-753. (in Chinese)
- [21] 胡鹏莉,吴瑞,鲁康乐,等.复合蛋白替代鱼粉对花鲈生长、消化能力和肠道健康的影响[J].渔业科学进展,2019,40(6):56-65.
- HU P L, WU R L, LU K, et al. Effects of replacing fish meal with composite protein on growth, diet digestibility, and gut health in Japanese seabass (*Lateolabrax maculatus*) [J]. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(6): 56-65. (in Chinese)
- [22] 郝甜甜,王际英,李宝山,等.复合动植物蛋白部分替代鱼粉对大菱鲂幼鱼生长、体成分及生理生化指标的影响[J].渔业科学进展,2019,40(4):11-20.
- HAO T T, WANG J Y, LI B S, et al. Effects of replacement of fish meal with an animal and plant protein mixture on growth, body composition, and physiological and biological indices of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(4): 11-20. (in Chinese)
- [23] 朱婷婷,金敏,孙蓬,等.饲料脂肪水平对大口黑鲈形体指标、组织脂肪酸组成、血清生化指标及肝脏抗氧化性能的影响[J].动物营养学报,2018,30(1):126-137.
- ZHU T T, JIN M, SUN P, et al. Effects of dietary lipid level on morphology indexes, tissue fatty acid composition, serum biochemical indexes and liver antioxidant indexes of Largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(1): 126-137. (in Chinese)
- [24] 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.
- [25] 甘晖,李坚明,冯广朋,等.饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长和血浆生化指标的影响[J].上海海洋大学学报,2009,18(1):35-41.
- GAN H, LI J M, FENG G P, et al. Effects of different lipid levels on growth and haematological biochemistry in juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* \times *Oreochromis aureus*) [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(1): 35-41. (in Chinese)
- [26] 黄文文,李弋,周岐存.不同品质鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能、饲料利用及肝脏抗氧化能力的影响[J].动物营养学报,2015,27(12):3744-3753.
- HUANG W W, LI Y, ZHOU Q C. Effects of different quality fish meal on growth performance, feed utilization and liver antioxidant capacity of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(12): 3744-3753. (in Chinese)
- [27] 文远红,黄燕华,王国霞,等.蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼抗氧化指标、消化酶活性及前肠、肝胰脏组织结

- 构的影响[J].饲料工业,2015,36(4):29-35.
- WEN Y H, HUANG Y H, WANG G X, et al. Effect of replacement of fish meal with maggot meal on antioxidant indexes, digestive enzyme activities, foregut and hepatopancreas histological structure of *Pelteobaegrus fulvidraco* [J]. Feed Industry, 2015, 36(4):29-35. (in Chinese)
- [28] 牛化欣,雷霖霖,常杰,等.冰鲜野杂鱼和商品饲料对大菱鲆生长、脂质代谢及抗氧化功能的影响[J].动物营养学报,2013,25(11):2696-2704.
- NIU H X, LEI J L, CHANG J, et al. Effects of fresh frozen trash fish and commercial feeds on growth, lipid metabolism and antioxidant function of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2013, 25(11):2696-2704. (in Chinese)
- [29] WILSON R P. Amino acids and proteins [M]// HALVER J E, HARDY R W. Fish nutrition. 3rd ed. San Diego, CA: Academic Press Inc., 2002:143-199.
- [30] 骆艺文.军曹鱼蛋白质需要量及菜籽粕、玉米蛋白粉替代鱼粉的研究[D].博士学位论文.青岛:中国海洋大学,2012.
- LUO Y W. Nutrition requirement of dietary protein and optimal replacement of fish meal protein by rapeseed meal and corn gluten meal in cobia, *Rachycentron canadum* L [D]. Ph. D. Thesis. Qingdao: Ocean University of China, 2012. (in Chinese)
- [31] BOUWMAN A F, BEUSEN A H W, OVERBEEK C C, et al. Hindcasts and future projections of global inland and coastal nitrogen and phosphorus loads due to finfish aquaculture [J]. Reviews in Fisheries Science, 2013, 21(2):112-156.
- [32] 曾本和,刘海平,王建,等.饲料蛋白质水平对拉萨裸裂尻鱼幼鱼肌肉氨基酸及蛋白质代谢的影响[J].中国水产科学,2019,26(6):1153-1163.
- ZENG B H, LIU H P, WANG J, et al. Effects of dietary protein levels on muscular amino acids and protein metabolism of *Schizopygopsis younghusbandi* Regan [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(6):1153-1163. (in Chinese)
- [33] BALLESTRAZZI R, LANARI D, D'AGARO E, et al. The effect of dietary protein level and source on growth, body composition, total ammonia and reactive phosphate excretion of growing sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture, 1994, 127(2/3):197-206.
- [34] 时博,郁欢欢,郑银桦,等.大口黑鲈对磷的最适需求量以及高水溶性磷酸一二钙的相对生物学利用率研究[J].动物营养学报,2018,30(9):3377-3387.
- SHI B, YU H H, ZHENG Y H, et al. Study on optimum requirement for phosphorus and relative biological availability of high soluble monocalcium phosphate of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(9):3377-3387. (in Chinese)
- [35] BUENO G W, FEIDEN A, NEU D H, et al. Digestibility of phosphorus in feed as a nutritional strategy for reduce of effluents from tilapia culture [J]. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária E Zootecnia, 2012, 64(1):183-191.

Effects of Compounded Animal and Vegetable Protein Feeds on Growth Performance, Muscle Quality and Nitrogen and Phosphorus Emissions of *Micropterus salmoides*

XIE Dizhi CHEN Hanyi* XU Chao MA Yongcai LI Mengmeng YE Rukai LI Yuanyou**
(Guangdong Laboratory for Lingnan Modern Agriculture, College of Marine Sciences of South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Two compounded animal and vegetable protein feeds (including some animal and plant protein sources such as fermented soybean meal and hydrolysed soybean meal etc.)—CPro I and CPro II were developed by our group. To explore the application effect of CPro I and CPro II in *Micropterus salmoides* culture, a commercial feed and fresh frozen trash fish were taken as control diets (D3 and D4), and two isonitrogenous (crude protein content was 49.0%) and isolipidic (crude lipid content was 12.0%) experiment diets (D1 and D2, containing 48% CPro I +30% fish meal, 48% CPro II +30% fish meal, respectively) were prepared in this study. Each diet was fed three aquariums (each aquarium had 50 fish) of *Micropterus salmoides* juveniles (initial body weight about 11.80 g) for 8 weeks. The results showed that the weight gain rate and specific growth rate of D2 group had no significant differences compared with D3 and D4 groups ($P>0.05$), while the hepatosomatic index and feed conversion rate of D2 group were significantly lower than those of D3 and D4 groups ($P<0.05$), respectively. The weight gain rate and specific growth rate of D1 group were significantly lower than those of D4 group ($P<0.05$). There were no significant differences in serum high-density lipoprotein cholesterol, total cholesterol and triglyceride contents among the four groups ($P>0.05$). However, the serum low-density lipoprotein cholesterol content and alkaline phosphatase activity of D1 and D2 groups were significantly lower than those of D3 and D4 groups ($P<0.05$). The serum and liver superoxide dismutase, catalase activities and total antioxidant capacity of fish fed the four different diets showed no significant difference ($P>0.05$), while the serum and liver malondialdehyde content of D1 and D2 groups was significantly lower than that of D4 group ($P<0.05$). Compared with the D3 and D4 groups, the D1 and D2 groups showed significantly lower muscular tenderness and significantly higher muscular water holding capacity ($P<0.05$). In addition, the total nitrogen emission of D1 and D2 groups was significantly lower than that of D4 group ($P<0.05$), and their total phosphorus emission was significantly lower than that of D3 and D4 groups ($P<0.05$). These results indicate that the diet is prepared by using CPro II as protein source not only has a higher growth-promoting effect on largemouth bass, but also is beneficial to the hepatic health, muscle quality, nitrogen and phosphorus emissions, which is feasible in *Micropterus salmoides* culture. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(5):2836-2847]

Key words: *Micropterus salmoides*; compounded animal and vegetable protein feeds; growth performance; muscle quality; nitrogen and phosphorus emissions

* Contributed equally

** Corresponding author, professor, E-mail: yyli16@scau.edu.cn