

文章编号: 1000-0615(2019)12-2485-09

DOI: 10.11964/jfc.20190511814

## 饲料纤维源对大口黑鲈生长、血浆生化指标、 肠道抗氧化能力和组织学的影响

石朝明, 蒋余, 钟云飞, 陈拥军, 罗莉, 林仕梅\*

(西南大学动物科技学院, 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 重庆 400716)

**摘要:** 为比较评价纤维源在鱼饲料中的营养生理功能差异, 在基础饲料中分别添加豆渣(SF)、发酵豆渣(FF)、羧甲基纤维素(CF)和微晶纤维素(MF)配制成相同纤维水平的等氮等脂实验饲料, 饲喂大口黑鲈[平均体质量(21.59±0.12)g] 8周, 从生长、血浆生化、肠道抗氧化以及组织学等指标比较不同纤维源对大口黑鲈的作用差异。结果显示, CF组大口黑鲈的终末体质量(FBW)、特定生长率(SGR)和蛋白质效率(PER)显著低于其他组, 而饲料系数(FCR)、肝体比(HSI)和肝脂含量显著高于其他组。CF组血浆谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)和碱性磷酸酶(ALP)活性以及甘油三酯(TG)含量显著高于其他组。同时发现, CF组大口黑鲈肠道超氧化物歧化酶(SOD)和Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATP酶活性显著低于其他组, 丙二醛(MDA)含量显著高于其他组, 而一氧化氮(NO)含量以FF组最高。与其他组相比, CF组大口黑鲈肝脏外观发白, 肝细胞空泡化严重, 后肠绒毛机械性损伤加剧。研究表明, 饲料不同纤维源会显著影响大口黑鲈的肝脏和肠道健康, 进而影响其生长性能, 而且应重新评估羧甲基纤维素作为水产饲料黏合剂的可行性。

**关键词:** 大口黑鲈; 纤维源; 生长; 血浆生化; 抗氧化能力

**中图分类号:** S 963.14

**文献标志码:** A

长期以来, 纤维素被当成一种抗营养因子, 会抑制动物的生长。最近研究证实, 纤维素作为一种益生元, 可以改善动物肠道健康<sup>[1-2]</sup>, 增强机体免疫力, 进而促进生长<sup>[3-4]</sup>。植物性原料作为水产饲料的主要来源, 因其纤维素含量高而应用受限, 但随着对纤维结构与功能研究的深入, 发现其与鱼类肠道微生态平衡、肠道发育密切相关<sup>[5]</sup>。众所周知, 鱼类对纤维的耐受能力是有限的<sup>[6-7]</sup>, 且不同纤维来源会影响鱼类的生长<sup>[8-10]</sup>, 同时, 鱼类免疫系统的调节以及肠道健康也因纤维来源不同而受到显著影响<sup>[4]</sup>。此外, 饲料纤维来源也会改变动物能量和养分消化率<sup>[11]</sup>。近年来大豆加工的副产物——豆渣, 引起了饲料生产者和营养研究者的广泛关注。本课题组前期研究发现, 饲料中添加适量的发酵豆渣(纤维含量20%以上)可改善大口黑鲈

(*Micropterus salmoides*)的生长性能, 提高机体的抗氧化能力<sup>[12]</sup>, 这是否是因为豆渣纤维发挥了益生元的功效所致, 尚待进一步研究。这些有限的研究结果表明, 不同纤维素源因其结构和理化性质不同, 致使其生物学功能也有所差异<sup>[13]</sup>, 但有关肉食性鱼类纤维素源的研究资料更是少见<sup>[14]</sup>。在充分发挥纤维有益作用的同时兼顾饲料养分在消化道的高效利用, 对指导渔业生产及合理利用植物性原料有着极为重要的意义。为此, 本研究以大口黑鲈为对象, 从生长、血浆生化、抗氧化能力以及组织学方面评价4种纤维来源(豆渣纤维、发酵豆渣纤维、羧甲基纤维素、微晶纤维素)在鱼饲料中的营养生理功能, 以期丰富鱼类碳水化合物营养资料, 为大口黑鲈优质饲料的配制提供技术参考。

收稿日期: 2019-05-30 修回日期: 2019-10-02

资助项目: 国家自然科学基金(31672659)

通信作者: 林仕梅, E-mail: linsm198@163.com

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验饲料

以鱼粉、大豆分离蛋白和小麦蛋白粉为蛋白源,以鱼油和豆油为脂肪源配制基础饲料,在基础饲料中分别添加豆渣(SF)、发酵豆渣(FF)、羧甲基纤维素(CF)和微晶纤维素(MF)配制成纤维水平相同的4种等氮等脂实验饲料,其饲料组成及营养水平见表1,饲料原料粉碎过80目筛,采取逐级稀释法混合均匀,制成粒径为2.0 mm的颗粒饲料,自然风干后于4℃冰柜中保存备用。

### 1.2 饲养管理

实验用大口黑鲈购自重庆市长寿区某养殖场,用商品饲料驯化10 d后禁食24 h,用0.01% MS-222麻醉后称重,随机分为4个处理,每个处理3个缸,每个缸25尾鱼[(21.59±0.12) g],在室内淡水循环养殖系统中饲养8周。实验期间,每日投喂3次(08:30、12:30、18:00),投饲率为3%~5%,养殖水源为充分曝气的自来水,养殖期间水温为23.2~28.5℃,溶解氧>6.5 mg/L,氨氮<0.05 mg/L,亚硝酸盐<0.01 mg/L, pH为7.0~7.4。

### 1.3 样品制备与分析

饲养实验结束后禁食24 h,用0.01% MS-222麻醉后称重,每个缸随机取3尾鱼用于测定全鱼常规成分;每个缸随机取4尾鱼,测体质量、体长,在冰盘上解剖并分离出内脏团、肝脏、肠道和肠系膜脂肪后称重,用于形体指标的测定,随后将肠道和肝脏迅速收集,液氮速冻后于-80℃冰箱中保存备用;每个缸随机取4尾鱼,用加入抗凝剂的一次性注射器于尾静脉取血,迅速置于3 500 r/min、4℃条件下离心10 min,收集血浆,-80℃冰箱中保存备用。

每个处理随机取9尾鱼(每个缸3尾鱼),分离肠道,去除表面脂肪,分别取长度约1 cm的前肠和后肠,用3%多聚甲醛固定液固定,用于石蜡组织切片;分离出肝脏,在相同部位切取约0.5 cm<sup>3</sup>的肝脏,用于石蜡组织切片。

饲料和全鱼样品常规营养测定均采用国标法。其中粗蛋白采用全自动凯氏定氮仪(Leco FB-528)测定;粗脂肪采用索氏提取法测定;水分采用在105℃烘干至恒重法测定;灰分采用马弗炉550℃灼烧恒重法测定;粗纤维采用半自动纤维分析仪(Fibertec M6)测定;肝脏脂肪含量采用氯

表1 实验饲料组成及营养水平(风干基础)

Tab. 1 Composition and nutrient levels of test diets (air-dry basis) %

项目 items	纤维源 fiber sources			
	SF	FF	CF	MF
<b>原料 ingredients</b>				
鱼粉 fish meal	36.0	36.0	36.0	36.0
大豆分离蛋白 isolated soy protein	8.3	4.7	11.0	11.0
小麦蛋白 wheat gluten	15.0	15.0	15.0	15.0
玉米淀粉 corn starch	5.0	5.0	5.0	5.0
鱼油 fish oil	3.0	3.0	3.0	3.0
豆油 soybean oil	4.0	3.5	5.0	5.0
豆渣 soybean dreg <sup>1</sup>	14.0			
发酵豆渣 fermented soybean dreg <sup>2</sup>		28.0		
羧甲基纤维素 carboxymethyl cellulose			6.0	
微晶纤维素 microcrystalline fiber				6.0
膨润土 bentonite	10.2	0.3	14.5	14.5
氯化胆碱 choline chloride	0.3	0.3	0.3	0.3
VC vitamin C	0.2	0.2	0.2	0.2
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.0	1.0	1.0	1.0
复合预混料 composite premix	3.0	3.0	3.0	3.0
合计 total	100.0	100.0	100.0	100.0
<b>营养成分 nutritional levels</b>				
粗蛋白质 crude protein	44.7	44.7	44.8	44.7
粗脂肪 crude lipid	10.2	10.5	10.5	10.6
粗灰分 crude ash	14.5	8.3	18.2	17.8
粗纤维 crude fiber	5.2	5.2	5.2	5.3

注: 1. 豆渣购自重庆市梁平区,为豆筋加工副产物; 2. 发酵豆渣以豆渣为原料经固态发酵而成

Notes: 1. soybean dregs purchased from Liangping District, Chongqing City, is a processing by-product of bean gluten; 2. fermented soybean dregs from soybean dregs by solid fermentation of bacteria

仿—甲醇法测定。

血浆中谷丙转氨酶(ALT)(CH0101201, 括号内数字为所用试剂盒的编号,下同)、谷草转氨酶(AST)(CH0101202)和碱性磷酸酶(ALP)(CH0101203)活性以及总胆固醇(TC)(CH0101152)、甘油三酯(TG)(CH0101151)、葡萄糖(GLU)(CH0101102)、钙(Ca)(CH0101251)和磷(P)(CH0101257)含量采用

全自动生化分析仪(日立7100)测定, 试剂盒购自四川迈克生物科技股份有限公司。超氧化物歧化酶(SOD)(A001-1-2)、过氧化氢酶(CAT)(A007-1-1)、一氧化氮合酶(NOS)(A014-2-2)、 $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATP酶(A070-2-2)、淀粉酶(AMS)(C016-1-1)活性以及丙二醛(MDA)(A003-1-2)、一氧化氮(NO)(A012-1-2)含量均采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定。

#### 1.4 计算公式

增重率(weight gain rate, WGR, %) =  $100\% \times (W_t - W_0) / W_0$ ;

特定生长率(specific growth rate, SGR, %/d) =  $100\% \times [\ln W_t - \ln W_0] / t$ ;

摄食率(feeding intake, FI, %/d) =  $100\% \times F \times 2 / [(W_t + W_0) \times t]$ ;

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER) =  $(W_t - W_0) / (F \times F_p)$ ;

饲料系数(feed conversion ratio, FCR) =  $F / (W_t - W_0)$ ;

成活率(survival, SR, %) =  $100\% \times N_t / N_0$ ;

脏体比(viscera somatic index, VSI, %) =  $100\% \times W_v / W_t$ ;

肝体比(hepatic somatic index, HSI, %) =  $100\% \times W_h / W_t$ ;

肠脂系数(mesenteric fat index, MFI, %) =  $100\% \times W_m / W_t$ ;

肥满度(condition factor, CF,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) =  $100 \times$

$W_t / L^3$ 。

式中,  $W_t$ 和 $W_0$ 分别为终末体质量和初始体质量(g),  $t$ 为养殖实验天数(d),  $F$ 为尾均摄食量(g),  $F_p$ 为饲料蛋白质含量(%),  $N_t$ 和 $N_0$ 分别为终末尾数和初始尾数(尾),  $L$ 为鱼体长(cm),  $W_v$ 为内脏重(g),  $W_h$ 为肝脏重(g),  $W_m$ 为肠系膜脂肪重(g)。

#### 1.5 数据处理

实验数据均以平均值 $\pm$ 标准误(mean  $\pm$  SE)表示。采用SPSS 22.0软件进行方差性检验和单因素分析(One-Way ANOVA), 若达到显著水平, 则进行Tukey氏多重比较, 显著性水平为 $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 饲料纤维源对大口黑鲈生长性能的影响

CF组大口黑鲈的FBW、WGR、SGR和PER显著低于其他实验组, FCR显著高于其他实验组( $P < 0.05$ ), 而SF、FF和MF组之间无显著差异(表2)。

### 2.2 饲料纤维源对大口黑鲈体组成的影响

饲料纤维源会影响大口黑鲈的体组成, CF组VSI、HSI和肝脏脂肪含量显著高于其他组( $P < 0.05$ ), 但各实验组CF、MFI以及粗灰分和粗蛋白含量无显著差异( $P > 0.05$ )。CF和MF组全鱼的水分含量显著高于其他实验组, 而粗脂肪含量显著低于其他实验组( $P < 0.05$ )(表3)。

表 2 饲料纤维源对大口黑鲈生长性能的影响

Tab. 2 Effects of dietary fiber sources on growth performance of *M. salmoides*

项目 items	纤维源 fiber sources			
	SF	FF	CF	MF
初始体质量/g IBW	21.58 $\pm$ 0.08	21.63 $\pm$ 0.02	21.55 $\pm$ 0.05	21.59 $\pm$ 0.04
终末体质量/g FBW	64.65 $\pm$ 0.58 <sup>b</sup>	68.18 $\pm$ 2.55 <sup>b</sup>	59.19 $\pm$ 1.28 <sup>a</sup>	66.49 $\pm$ 1.50 <sup>b</sup>
增重率/% WGR	199.59 $\pm$ 3.64 <sup>b</sup>	215.31 $\pm$ 12.04 <sup>b</sup>	174.61 $\pm$ 5.71 <sup>a</sup>	201.04 $\pm$ 5.09 <sup>b</sup>
特定生长率(%/d) SGR	1.83 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	1.92 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	1.68 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	1.87 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>
摄食率(%/d) FR	2.12 $\pm$ 0.12	2.04 $\pm$ 0.06	2.05 $\pm$ 0.01	2.08 $\pm$ 0.12
蛋白质效率 PER	1.45 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	1.45 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	1.23 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	1.41 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>
饲料系数 FCR	1.55 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	1.55 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	1.82 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>	1.60 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>
成活率/% SR	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	94.21 $\pm$ 1.24	100.00 $\pm$ 0.00

注: 同行中上标不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ); 下同

Notes: in the same row, values with different lowercase letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ); the same below

表 3 饲料纤维源对大口黑鲈形体指标和营养组成的影响

Tab. 3 Effects of dietary fiber sources on morphological measurements and nutrition composition of *M. salmoides*

项目 items	纤维源 fiber source			
	SF	FF	CF	MF
<b>形体指标 morphological measurements</b>				
脏体比/% VSI	8.71±0.22 <sup>a</sup>	8.57±0.19 <sup>a</sup>	9.74±0.29 <sup>b</sup>	8.77±0.13 <sup>a</sup>
肝体比/% HSI	2.81±0.10 <sup>a</sup>	2.65±0.08 <sup>a</sup>	4.09±0.21 <sup>b</sup>	2.87±0.07 <sup>a</sup>
肠脂系数/% MFI	1.94±0.05	1.88±0.10	1.95±0.05	1.99±0.13
肥满度/(g/cm <sup>3</sup> ) CF	1.93±0.03	1.97±0.04	1.88±0.04	1.92±0.02
<b>营养组成 nutrition composition</b>				
水分/% moisture	71.45±0.15 <sup>a</sup>	71.03±0.27 <sup>a</sup>	72.75±0.22 <sup>b</sup>	72.63±0.13 <sup>b</sup>
粗蛋白/% crude protein	14.84±0.04	14.94±0.03	14.92±0.01	14.97±0.04
粗脂肪/% crude lipid	8.69±0.05 <sup>b</sup>	8.58±0.05 <sup>b</sup>	7.24±0.04 <sup>a</sup>	7.46±0.09 <sup>a</sup>
粗灰分/% crude ash	3.55±0.04	3.55±0.04	3.55±0.04	3.55±0.04
肝脏脂肪含量/% liver lipid content	4.38±0.03 <sup>a</sup>	4.11±0.36 <sup>a</sup>	5.76±0.15 <sup>b</sup>	4.58±0.04 <sup>a</sup>

### 2.3 饲料纤维源对大口黑鲈血浆生化的影响

饲料纤维源对大口黑鲈血浆中GLU、TC、Ca和P含量无显著影响( $P>0.05$ )(表4),但CF组大口黑鲈血浆中的ALT、AST和ALP活性以及TG含量显著高于其他实验组( $P<0.05$ )。

### 2.4 饲料纤维源对大口黑鲈肠道抗氧化能力的影响

CF组SOD、CAT、AMS和Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATP酶活性显著低于FF和MF组,而MDA含量显著高于其他实验组( $P<0.05$ )。FF组NO含量显著高于其他实验组( $P<0.05$ ),而SF、CF和MF实验组间无显著差异( $P>0.05$ )。大口黑鲈肠道NOS活性在组间无显著差异( $P>0.05$ )(表5)。

### 2.5 饲料纤维源对大口黑鲈肝脏和肠道组织学的影响

饲料纤维源会显著影响大口黑鲈肝脏的形态(图版 I),各组肝脏外观都较饱满,但CF组肝脏出现明显发白现象。从组织切片可观察到CF组肝细胞形态轮廓模糊,肝细胞空泡化比较严重,肝细胞核逐渐溶解或已缺失,肝细胞索不明显。

饲料纤维源对大口黑鲈前肠组织无明显影响(图版 II),但会显著影响后肠的组织形态,其中以CF组后肠的机械性损伤最为严重,表现为肠道绒毛稀疏,肠绒毛长度短小,空泡化较严重。

表 4 饲料纤维源对大口黑鲈血浆生化指标的影响

Tab. 4 Effects of dietary fiber sources on plasma biochemical indexes of *M. salmoides*

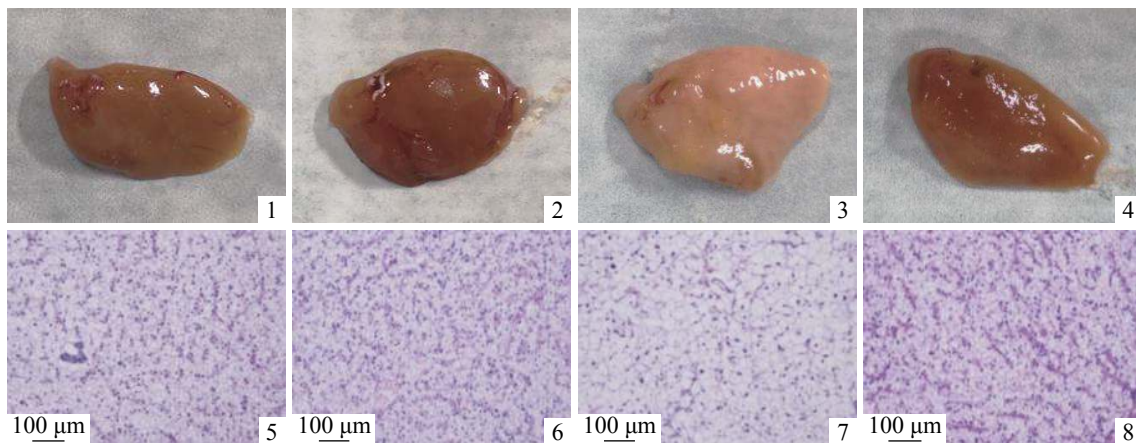
项目 items	纤维源 fiber source			
	SF	FF	CF	MF
谷丙转氨酶/(U/L) ALT	5.00±0.30 <sup>b</sup>	4.52±0.10 <sup>ab</sup>	9.30±0.26 <sup>c</sup>	3.17±0.23 <sup>a</sup>
谷草转氨酶/(U/L) AST	24.31±0.89 <sup>a</sup>	21.95±1.81 <sup>a</sup>	40.01±0.54 <sup>b</sup>	21.92±2.25 <sup>a</sup>
碱性磷酸酶/(U/L) ALP	46.47±1.30 <sup>ab</sup>	43.02±1.12 <sup>a</sup>	73.59±4.81 <sup>c</sup>	54.98±2.14 <sup>b</sup>
葡萄糖/(mmol/L) GLU	3.25±0.27	2.87±0.32	3.02±0.35	3.59±0.04
甘油三酯/(mmol/L) TG	8.43±0.73 <sup>a</sup>	7.66±0.20 <sup>a</sup>	11.42±0.46 <sup>b</sup>	8.60±0.34 <sup>a</sup>
总胆固醇/(mmol/L) TC	9.06±0.21	8.92±0.20	9.18±0.40	8.74±0.42
钙/(mmol/L) Ca	2.55±0.04	2.60±0.04	2.51±0.06	2.58±0.05
磷/(mmol/L) P	3.36±0.10	3.33±0.08	3.39±0.11	3.37±0.08
Ca/P	0.77±0.02	0.78±0.02	0.75±0.02	0.78±0.02



表 5 饲料纤维源对大口黑鲈肠道抗氧化和消化吸收的影响

Tab. 5 Effects of dietary fiber sources on intestinal antioxidant and digestive absorption of *M. salmoides*

项目 items	纤维源 fiber sources			
	SF	FF	CF	MF
<b>抗氧化指标 antioxidant index</b>				
超氧化物歧化酶/(U/mg prot) SOD	82.61±0.47 <sup>a</sup>	93.25±1.01 <sup>c</sup>	81.93±1.08 <sup>a</sup>	88.91±1.64 <sup>b</sup>
过氧化氢酶/(U/mg prot) CAT	23.47±0.88 <sup>ab</sup>	27.12±1.41 <sup>c</sup>	22.46±0.52 <sup>a</sup>	26.66±1.18 <sup>b</sup>
丙二醛/(nmol/mg prot) MDA	1.62±0.04 <sup>a</sup>	1.56±0.03 <sup>a</sup>	2.36±0.34 <sup>b</sup>	1.61±0.13 <sup>a</sup>
一氧化氮合酶/(U/mg prot) NOS	1.16±0.12	1.22±0.04	0.80±0.02	1.13±0.10
一氧化氮/(μmol/g prot) NO	5.06±0.16 <sup>a</sup>	5.76±0.29 <sup>b</sup>	4.24±0.24 <sup>a</sup>	5.06±0.49 <sup>a</sup>
<b>消化吸收指标 digestive absorption index</b>				
淀粉酶/(U/mg prot) AMS	1.88±0.04 <sup>a</sup>	2.14±0.01 <sup>b</sup>	1.77±0.08 <sup>a</sup>	2.17±0.01 <sup>b</sup>
Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> -ATP酶/(U/mg prot) Na <sup>+</sup> ,K <sup>+</sup> -ATPase	10.50±0.29 <sup>b</sup>	13.27±0.28 <sup>c</sup>	8.14±0.59 <sup>a</sup>	12.35±0.16 <sup>c</sup>



图版 1 饲料纤维源对大口黑鲈肝脏形态学的影响

(1) SF组肝脏外观, (2) FF组肝脏外观, (3) CF组肝脏外观, (4) MF组肝脏外观, (5) SF组肝脏切片, (6) FF组肝脏切片, (7) CF组肝脏切片, (8) MF组肝脏切片

#### Plate I Effect of dietary fiber sources on liver morphology of *M. salmoides* (×100, H.E)

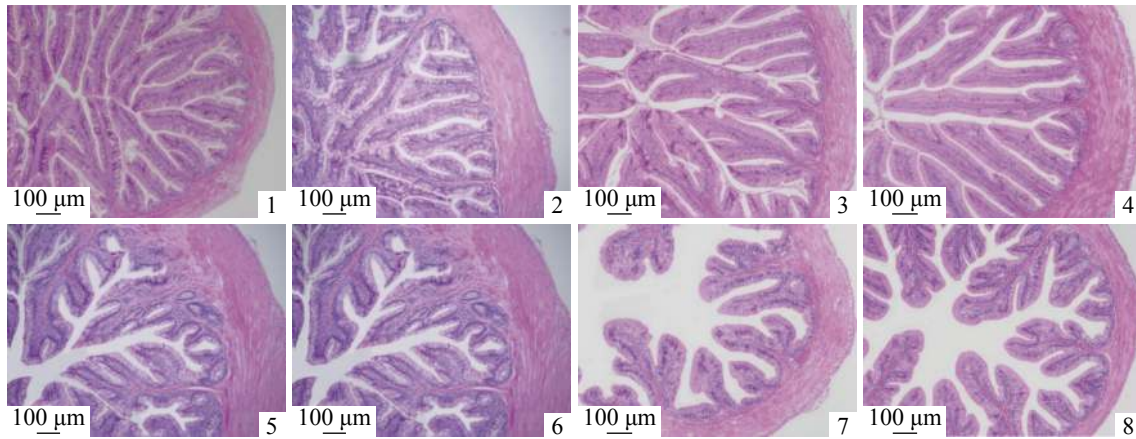
(1) SF group liver appearance, (2) FF group liver appearance, (3) CF group liver appearance, (4) MF group liver appearance, (5) SF group liver section, (6) FF group liver section, (7) CF group liver section, (8) MF group liver section

### 3 讨论

#### 3.1 饲料纤维源对大口黑鲈生长性能的影响

本研究发现饲料中不同纤维来源会显著影响大口黑鲈的生长性能, 这与在鲈<sup>[8]</sup>、克林雷氏鲈(*Rhamdia quelen*)<sup>[9]</sup>、尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)<sup>[10]</sup>和虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)<sup>[15-16]</sup>中的研究结果一致, 这种饲料中不同纤维源对动物生长性能影响的差异可能与纤维的结构及其理化特性有关。饲料中粗纤维水平较高会对动物的生长有抑制作用, 而抑制程度随饲料纤维来

源而异。同豆渣纤维相比, 发酵豆渣纤维可以改善大口黑鲈的生长, 一方面发酵加快豆渣纤维的分解消化, 提高了纤维的消化率, 另一方面可能是因为豆渣发酵纤维产生大量短链脂肪酸(SCFAs)为动物提供能量所致。此外, 摄食羧甲基纤维素饲料后, 大口黑鲈生长性能明显下降, 同样在罗非鱼<sup>[17]</sup>、尖齿胡鲈(*Clarias gariepinus*)<sup>[18]</sup>和低眼无齿鲃(*Pangasianodon hypophthalmus*)<sup>[19]</sup>中也有相似的发现。这可能是因为羧甲基纤维素溶解性强, 增加了大口黑鲈肠道的黏度<sup>[20]</sup>, 降低了营养物质的消化率<sup>[21]</sup>, 从



图版 II 饲料纤维源对大口黑鲈前肠和后肠组织结构的影响

(1) SF组前肠, (2) FF组前肠, (3) CF组前肠, (4) MF组前肠, (5) SF组后肠, (6) FF组后肠, (7) CF组后肠, (8) MF组后肠

**Plate II Effects of dietary fiber sources on foregut and hindgut morphology of *M. salmoides* (×100, H.E)**

(1) SF group foregut, (2) FF group foregut, (3) CF group foregut, (4) MF group foregut, (5) SF group hindgut, (6) FF group hindgut, (7) CF group hindgut, (8) MF group hindgut

而抑制机体生长<sup>[22]</sup>。同时,本研究还发现羧甲基纤维素组肠道消化酶和吸收酶活性最低,而饲料系数最高,这进一步揭示不同纤维组大口黑鲈生长的差异可能是由于其养分消化利用率不同所致。已有研究在尼罗罗非鱼<sup>[10]</sup>和虹鳟<sup>[23]</sup>中也证实了不同纤维源可以影响饲料营养成份的消化率。除此之外,饲料纤维的可溶性成份以及粒度均会降低动物的生长性能,但不同饲料纤维源究竟通过什么途径影响鱼类的生长性能还需要进一步的研究。

### 3.2 饲料纤维源对大口黑鲈肝功能的影响

通常血液代谢物可以判断鱼类的营养和健康状况<sup>[24-25]</sup>,其中ALT和AST是评价肝功能的主要指标,这些指标的上升往往预示着肝脏受损<sup>[26-27]</sup>。研究结果表明,羧甲基纤维素组大口黑鲈血浆中ALT和AST活性明显升高,表明肝功能受到羧甲基纤维素的破坏。同时发现,摄食羧甲基纤维素后引起肝脏中脂肪堆积,致使血脂升高,这进一步证实了纤维源会干扰鱼类正常的脂质代谢。在建鲤(*Cyprinus carpio* var. *jian*)<sup>[28]</sup>和黄河鲤(*C. carpio haematopterus*)<sup>[29]</sup>中的研究同样发现饲料纤维能够降低动物的血脂含量。然而,也有研究发现,饲料纤维素水平不会影响舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)血脂含量<sup>[6]</sup>。纤维素对油脂、胆固醇均有较强的吸附性,这种对油脂的吸附能力可能与纤维素的品种和粒度有关。随后的组织学研究也发现,羧甲基纤维素

组肝细胞空泡化比较严重,表明羧甲基纤维素严重损害了肝脏组织结构,这揭示了不同纤维源会显著影响大口黑鲈肝脏形态,可能是肝脏组织对纤维素刺激的一种适应性反应。

### 3.3 饲料纤维源对大口黑鲈肠道健康的影响

SOD和CAT作为生物体内抗氧化防御机制的第一道防线,能够清除体内多余的氧化自由基。本研究发现,饲料中纤维源会影响大口黑鲈肠道SOD和CAT活性,这说明动物体内抗氧化能力受到影响,在猪<sup>[30]</sup>中也有同样的研究结果。本课题组前期研究也发现,饲料中添加豆渣纤维可以提高鱼类机体的抗氧化能力<sup>[12,28]</sup>。众所周知,NOS和NO是防御病原体的免疫调节因子,NOS和NO的高低直接反映机体的免疫性能<sup>[31-32]</sup>。发酵豆渣纤维可以显著提高肠道NO含量,这表明纤维影响了大口黑鲈肠道的免疫力。已有的研究也证实了纤维可以提高鱼体的免疫力<sup>[4,8]</sup>。此外,发酵纤维还可以改善肠道的结构形态<sup>[33]</sup>。本实验发酵豆渣纤维组肠道绒毛较长,杯状细胞数较多,说明发酵豆渣纤维有促进大口黑鲈肠道细胞生长的作用,同时还具有促进肠道健康的作用。而羧甲基纤维素组的肠道绒毛变短、变宽,刷状缘不明显且排列不规则,黏膜层略微变薄,说明摄食羧甲基纤维饲料对鱼肠形态产生一定的不良影响。以上结果表明,肠道黏膜的变化是对纤维素刺激的一种适应性反应。饲料纤维对鱼体健康影响的研究较少,具

体机制及影响过程还有待进一步研究。

综上所述, 饲料中纤维来源会影响大口黑鲈的肝脏和肠道健康, 进而影响其生长性能。本研究中发酵豆渣纤维有助于降低氧化应激, 改善肝脏和肠道健康, 而羧甲基纤维素则会损伤大口黑鲈肝脏和肠道功能, 进而抑制其生长性能。因此可考虑发酵豆渣纤维作为饲料益生元, 但应重新评估羧甲基纤维素作为水产饲料黏合剂的可行性。

#### 参考文献:

- [1] Desai A R, Links M G, Collins S A, *et al.* Effects of plant-based diets on the distal gut microbiome of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Aquaculture*, 2012, 350-353: 134-142.
- [2] Ingerslev H C, Strube M L, Jrgensen L V G, *et al.* Diet type dictates the gut microbiota and the immune response against *Yersinia ruckeri* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2014, 40(2): 624-633.
- [3] Cerezuola R, Fumanal M, Tapia-Paniagua S T, *et al.* Changes in intestinal morphology and microbiota caused by dietary administration of inulin and *Bacillus subtilis* in gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) specimens[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2013, 34(5): 1063-1070.
- [4] Yarahmadi P, Kolangi Miandare H, Farahmand H, *et al.* Dietary fermentable fiber upregulated immune related genes expression, increased innate immune response and resistance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) against *Aeromonas hydrophila*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2014, 41(2): 326-331.
- [5] Leigh S C, Nguyen-Phuc B Q, German D P. The effects of protein and fiber content on gut structure and function in zebrafish (*Danio rerio*)[J]. *Journal of Comparative Physiology B*, 2017, 188(2): 237-253.
- [6] Bonvini E, Bonaldo A, Parma L, *et al.* Feeding European sea bass with increasing dietary fiber levels: impact on growth, blood biochemistry, gut histology, gut evacuation[J]. *Aquaculture*, 2018, 494: 1-9.
- [7] National Research Council (NRC), 2011. Committee on the nutrient requirements of fish and shrimp, nutrient requirements of fish and shrimp[M]. National Academic Press, Washington, D. C., USA.
- [8] Adorian T J, Goulart F R, Mombach P I, *et al.* Effect of different dietary fiber concentrates on the metabolism and indirect immune response in silver catfish[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2016, 215: 124-132.
- [9] Goulart F R, Da Silva L P, Loureiro B B, *et al.* Effects of dietary fiber concentrates on growth performance and digestive enzyme activities of jundia (*Rhamdia quelen*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2017, 23(2): 358-366.
- [10] Amirkolaie A K, Leenhouders J I, Verreth J A J, *et al.* Type of dietary fiber (soluble versus insoluble) influences digestion, faeces characteristics and faecal waste production in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)[J]. *Aquaculture Research*, 2005, 36(12): 1157-1166.
- [11] 孟丽辉, 庞敏, 朱丽媛, 等. 日粮纤维来源对生长猪养分消化率的影响[J]. *动物营养学报*, 2015, 27(4): 1068-1075.
- Meng L H, Pang M, Zhu L Y, *et al.* Effects of dietary fiber sources on the digestibility of nutrients for growing pigs[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(4): 1068-1075(in Chinese).
- [12] Jiang Y, Zhao P F, Lin S M, *et al.* Partial substitution of soybean meal with fermented soybean residue in diets for juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2018, 24(4): 1213-1222.
- [13] Nollet L, Toldrá, Fidel. Handbook of analysis of active compounds in functional foods || methods of analysis of saccharin[J]. Crc Press, 2012, 12: 863-874.
- [14] 钱国英. 饵料中不同蛋白质, 纤维素, 脂肪水平对加州鲈生长的影响[J]. *动物营养学报*, 2000(02): 48-52.
- Qian G Y. Effects of dietary protein, fiber and fat on the growth of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2000(02): 48-52(in Chinese).
- [15] Sheikhzadeh N, Heidarieh M, Pashaki A K, *et al.* Hilyses<sup>®</sup>, 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.
- [16] Davies, John S. The nutritional value of dietary fibre for rainbow trout (*Salmo gairdneri*)[D]. England: University of Stirling, 1984.
- [17] Shiao S Y, Yu H L, Hwa S, *et al.* The influence of carboxymethylcellulose on growth, digestion, gastric emptying time and body composition of tilapia[J]. *Aquaculture*, 1988, 70(4): 345-354.
- [18] Fagbenro O, Jauncey K. Growth and protein utilization



- by juvenile catfish (*Clarias gariepinus*) fed moist diets containing autolysed protein from stored lactic-acid-fermented fish-silage[J]. *Bioresource Technology*, 1994, 48(1): 43-48.
- [19] Tran-Tu L C, Hien T T T, Bosma R H, *et al.* Effect of ingredient particle sizes and dietary viscosity on digestion and faecal waste of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2017, 24(3): 961-969.
- [20] Vissia G H P, Beynen A C. Inhibitory effect of dietary carboxymethylcellulose on fat digestibility in rats fed diets containing either starch or glucose[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2000, 85(1-2): 139-144.
- [21] Edwards C A, Johnson I T, Read N W. Do viscous polysaccharides slow absorption by inhibiting diffusion or convection?[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1988, 42(4): 307-312.
- [22] Smits C H, Veldman A, Verkade H J, *et al.* The inhibitory effect of carboxymethylcellulose with high viscosity on lipid absorption in broiler chickens coincides with reduced bile salt concentration and raised microbial numbers in the small intestine[J]. *Poultry Science*, 1998, 77(10): 1534-1539.
- [23] Glencross B. The influence of soluble and insoluble lupin non-starch polysaccharides on the digestibility of diets fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Aquaculture*, 2009, 294(3-4): 256-261.
- [24] Bonaldo A, Di Marco P, Petochi T, *et al.* Feeding turbot juveniles *Psetta maxima* L. with increasing dietary plant protein levels affects growth performance and fish welfare[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2015, 21(4): 401-413.
- [25] Bonvini E, Parma L, Mandrioli L, *et al.* Feeding common sole (*Solea solea*) juveniles with increasing dietary lipid levels affects growth, feed utilization and gut health[J]. *Aquaculture*, 2015, 449: 87-93.
- [26] Ahmad R, Hasnain A U. Ontogenetic changes and developmental adjustments in lactate dehydrogenase isozymes of an obligate air-breathing fish *Channa punctatus* during deprivation of air access[J]. *Comparative Biochemistry & Physiology Part B*, 2005, 140(2): 271-278.
- [27] Akrami R, Gharaei A, Mansour M R, *et al.* Effects of dietary onion (*Allium cepa*) powder on growth, innate immune response and hemato-biochemical parameters of beluga (*Huso huso Linnaeus*, 1754) juvenile[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2015, 45(2): 828-834.
- [28] 蒋余, 赵鹏飞, 陈拥军, 等. 发酵豆渣对建鲤生长性能、血浆生化指标和抗氧化能力的影响[J]. *动物营养学报*, 2018, 30(4): 1387-1395.
- Jiang Y, Zhao P F, Chen Y J, *et al.* Effects of fermented soybean residue on growth performance, plasma biochemical indexes and antioxidant capacity of Jian carp[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(4): 1387-1395(in Chinese).
- [29] 王成章, 何云, 史莹华, 等. 饲料中添加苜蓿草粉对黄河鲤鱼抗氧化性能及脂质代谢的影响[J]. *草业学报*, 2008, 17(4): 141-148.
- Wang C Z, He Y, Shi Y H, *et al.* Effect of adding alfalfa meal in diet on antioxidant function and lipid metabolism of *Cyprinus carpio haematopterus*[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2008, 17(4): 141-148(in Chinese).
- [30] Wu X, Chen D, Yu B, *et al.* Effect of different dietary non-starch fiber fractions on growth performance, nutrient digestibility, and intestinal development in weaned pigs[J]. *Nutrition*, 2018, 51-52: 20.
- [31] Chakrabarti R, Srivastava P K, Verma N, *et al.* Effect of seeds of *Achyranthes aspera* on the immune responses and expression of some immune-related genes in carp *Catla catla*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2014, 41(1): 64-69.
- [32] Liu H, Wang J, He T. Butyrate a double-edged sword for health[J]. *Advances in Nutrition*, 2018, 9(1): 21-29.
- [33] Yarahmadi P, Miandare H K, Hoseinifar S H. Haemato-immunological and serum biochemical parameters, intestinal histomorphology and growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed dietary fermentable fiber[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2016, 22(5): 1134-1142.



## Effects of dietary fiber sources on growth, plasma biochemical indexes, intestinal antioxidant capacity and histology of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)

SHI Chaoming, JIANG Yu, ZHONG Yunfei, CHEN Yongjun, LUO Li, LIN Shimei\*

(Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education, College of Animal Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400716, China)

**Abstract:** In order to compare and evaluate the differences in nutritional and physiological functions of fiber sources in fish feed, we observed the effects of dietary fiber sources on the growth, plasma biochemical, intestinal antioxidant capacity and histology of *M. salmoides*. Fish [initial weight of (21.59±0.12) g] were fed four isonitrogenous and isolipid experimental diets containing same fiber content soybean dregs fiber (SF), fermented soybean dregs fiber (FF), carboxymethyl cellulose (CF) and microcrystalline cellulose (MF) for 8 weeks. The results indicated that the CF group showed significantly lower final body weight (FBW), specific growth rate (SGR) and protein efficiency ratio (PER) compared with other groups, while feed conversion ratio (FCR), hepatosomatic index (HSI) and liver lipid content were significantly higher than other groups. The activities of alanine aminotransferase (ALT), aspartate transaminase (AST) and alkaline phosphatase (ALP) and the content of triglyceride (TG) in plasma of CF group were significantly higher than other groups. At the same time, the activities of superoxide dismutase (SOD) and Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase of CF group were significantly lower than other groups, while the content of malondialdehyde (MDA) was significantly higher than other groups. The content of nitric oxide (NO) was the highest in FF group. Compared with the other groups, the liver appearance became white and liver cells were vacuolated seriously with aggravation of mechanical damage of the hindgut villi in CF group. The results showed that dietary fiber source could significantly affect the liver and intestinal health and then affect growth performance of *M. salmoides*, and the feasibility of carboxymethyl cellulose as pellet binder should be re-evaluated.

**Key words:** *Micropterus salmoides*; fiber sources; growth; plasma biochemical indexes; antioxidant capacity

**Corresponding author:** LIN Shimei. E-mail: linsm198@163.com

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China (31672659)