

大口黑鲈饲料中发酵豆粕营养价值的评定

何明^{1,2,3} 喻一峰^{1,2,3} 李小勤^{1,2,3} 段志鹏¹ 蔡中秋¹ 冷向军^{1,2,3*}

(1.上海海洋大学,水产科学国家级实验教学示范中心,上海 201306;2.上海海洋大学,农业部鱼类营养与环境生态研究中心,上海 201306;3.上海海洋大学,水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心,上海 201306)

摘要: 本试验旨在通过养殖试验和消化率试验来评定豆粕和发酵豆粕在大口黑鲈饲料中的营养价值。试验1:选择180条平均体重(4.0±0.1)g的大口黑鲈,随机分为3组,每组3个重复,每个重复20尾鱼。对照组投喂鱼粉含量为35%的基础饲料,试验组(SBM-30和FSBM-30组)分别投喂以豆粕和发酵豆粕替代基础饲料中30%鱼粉的试验饲料。试验期8周。试验2:选择315条平均体重(35.7±1.0)g大口黑鲈,随机分为7组,每组3个重复,每个重复15尾鱼。设计1个鱼粉含量为40%的基础饲料,然后将豆粕和发酵豆粕分别以10%、20%和30%的比例与基础饲料混合,配制成6组试验饲料,分别投喂7组大口黑鲈2周后收集粪便,采用套算法测定不同混合比例下大口黑鲈对豆粕和发酵豆粕中营养物质的表观消化率。结果表明:1)SBM-30组的饲料系数和摄食量显著高于对照组($P<0.05$),肝体比显著低于对照组($P<0.05$);FSBM-30组的上述指标与对照组没有显著差异($P>0.05$)。SBM-30组的干物质、粗蛋白质表观消化率显著低于对照组($P<0.05$)。2)30%混合比例下干物质、粗蛋白质、磷和总氨基酸表观消化率显著低于10%混合比例($P<0.05$),粗脂肪表观消化率显著高于10%和20%混合比例($P<0.05$);30%混合比例下,发酵豆粕的干物质、粗蛋白质、磷和总氨基酸表观消化率显著高于豆粕($P<0.05$)。综上所述,豆粕经发酵后,干物质、粗蛋白质、总氨基酸和磷的表观消化率显著提高,在鱼粉含量为35%的饲料中,发酵豆粕可替代30%的鱼粉而不会对大口黑鲈增重和饲料利用产生影响。

关键词: 大口黑鲈;豆粕;发酵豆粕;生长性能;表观消化率

中图分类号:S963.31

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)10-4943-13

豆粕是目前水产饲料行业广泛应用的植物性蛋白质原料,相比于其他植物性蛋白质原料,具有粗蛋白质含量高、氨基酸组成均衡等优点,但豆粕中含有多种抗营养因子,如大豆球蛋白、 β -伴大豆球蛋白、胰蛋白酶抑制剂、棉子糖、水苏糖、大豆凝集素、脲酶和植酸等,会抑制水产动物消化酶活性,引起过敏反应,造成肠道损伤,从而导致豆粕中营养物质消化率的降低^[1-3]。微生物固态发酵技术能降解豆粕中的抗营养因子,提高粗蛋白质含量,增加小肽以及游离氨基酸含量^[4-6]。在点带石斑鱼(*Epinephelus coioides*, Hamilton)^[7]、大菱

鲆(*Scophthalmus maximus* L.)^[8]的研究表明,水产动物对发酵豆粕的利用率要显著高于豆粕。现阶段我国的发酵豆粕生产工艺主要以固态发酵为主,因发酵菌种和发酵工艺的不同,不同种类发酵豆粕的营养价值存在一定的差异。研究表明,相比于单菌种单级发酵,采用多菌种联合多级发酵技术能够更彻底地去除抗营养因子,提高豆粕的营养价值^[9-11]。

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)是我国重要的水产养殖品种,具有生长快、耐低温、抗病力强以及味道鲜美等特点,2018年全国总产量为

收稿日期:2020-04-10

基金项目:上海源耀生物技术股份有限公司项目(D-8006-18-0076)

作者简介:何明(1991—),男,浙江丽水人,博士研究生,从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: 39041197@qq.com

*通信作者:冷向军,教授,博士生导师,E-mail: xjleng@shou.edu.cn

432 058 t^[12]。目前,大口黑鲈的商业饲料中鱼粉含量较高,一般为 40%~55%,这也导致了养殖业的高成本问题,故寻找适宜的大口黑鲈植物蛋白质源成为如今研究的热点。但肉食性鱼类对植物性蛋白质原料中营养物质的消化利用率较低^[13],因此通过养殖试验和消化率试验来评定蛋白质原料的营养价值,是蛋白质原料推广应用的重要前提。

本研究在测定发酵豆粕营养成分的基础上,通过养殖试验探究饲料中豆粕和发酵豆粕对大口黑鲈生长、体组成及营养物质消化率、沉积率的影响,通过套算法测定大口黑鲈对豆粕和发酵豆粕中营养物质的消化率,对发酵豆粕的营养价值进行评定,为发酵豆粕在水产饲料中的合理应用提

供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验 1:发酵豆粕部分替代鱼粉对大口黑鲈生长和饲料利用的影响

1.1.1 试验设计及试验饲料

本试验所用的豆粕和发酵豆粕由上海某公司提供。发酵豆粕采用粗蛋白质含量为 46%的豆粕作为发酵原料,接种枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)室温发酵 24 h 后,再接种酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)和乳酸菌(*Lactobacillus*)(1:1)厌氧发酵 64 h,最后干燥粉碎制得。豆粕和发酵豆粕的常规成分和主要抗营养因子含量见表 1。

表 1 豆粕和发酵豆粕的常规成分和主要抗营养因子含量

Table 1 Conventional composition and main anti-nutritional factors contents of soybean meal and fermented soybean meal

项目 Items	g/kg								
	水分 Moisture	粗蛋白质 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	粗灰分 Crude ash	粗纤维 Crude fiber	β -伴大豆 球蛋白 β -conglycinin	大豆 球蛋白 Glycinin	棉子糖 Raffinose	水苏糖 Stachyose
豆粕 Soybean meal	123.5	463.0	25.8	77.1	50.8	172.82	117.17	51.0	42.8
发酵豆粕 Fermented soybean meal	93.0	504.0	32.9	84.5	69.3	15.37	12.53	3.0	0.3

以鱼粉含量为 35%的大口黑鲈基础饲料作为对照组(CON 组),以豆粕、发酵豆粕分别替代基础饲料中 30%的鱼粉(SBM-30 和 FSBM-30 组),制成 3 组等蛋白质饲料,同时,饲料中添加 0.5 g/kg的三氧化二钼作为指示剂,用于消化率的测定。所有蛋白质原料经粉碎后过 60 目筛网,按

照配方称重后充分混匀,加入 15%的水,采用单螺杆挤压机(SLP-45,中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所)在 85~90 °C 制成粒径 3 mm 的沉性颗粒饲料,阴凉通风处干燥后,储存于 4 °C 备用。试验饲料组成及营养水平见表 2。

表 2 试验饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)

项目 Items	组别 Groups		
	CON	SBM-30	FSBM-30
原料 Ingredients ¹⁾			
鱼粉 Fish meal	350.0	245.0	245.0
发酵豆粕 Fermented soybean meal			156.8
豆粕 Soybean meal	80.0	244.6	80.0
大豆浓缩蛋白 Soybean protein concentrate	80.0	80.0	80.0

续表 2

项目 Items	组别 Groups		
	CON	SBM-30	FSBM-30
玉米蛋白 Corn gluten	80.0	80.0	80.0
面粉 Wheat flour	189.5	118.0	126.1
谷朊粉 Wheat gluten	40.0	40.0	40.0
啤酒酵母 Beer yeast	40.0	40.0	40.0
鱼油 Fish oil	30.0	32.9	33.2
豆油 Soybean oil	30.0	32.9	33.2
大豆磷脂 Soybean phospholipid	30.0	30.0	30.0
鱿鱼膏 Squid paste	20.0	20.0	20.0
DL-蛋氨酸 DL-methionine		2.2	2.2
L-赖氨酸盐酸盐 L-lysine · HCl		2.9	2.0
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	15.0	15.0	15.0
氯化胆碱 Choline chloride	5.0	5.0	5.0
维生素预混料 Vitamin premix ²⁾	5.0	5.0	5.0
矿物质预混料 Mineral premix ³⁾	5.0	5.0	5.0
氧化钇 Y ₂ O ₃	0.5	0.5	0.5
牛磺酸 Taurine		1.0	1.0
合计 Total	1 000.0	1 000.0	1 000.0
营养水平 Nutrient levels ⁴⁾			
水分 Moisture	75.8	74.0	77.3
粗蛋白质 Crude protein	463.9	461.4	460.0
粗脂肪 Crude lipid	117.5	113.6	109.7
灰分 Ash	120.6	117.6	114.5
总能 Gross energy/(MJ/kg)	17.54	17.27	17.03

1) 蛋白质原料中蛋白质含量如下 The protein contents of protein ingredients were as follow: 鱼粉 fish meal 665 g/kg, 大豆浓缩蛋白 soybean protein concentrate 631 g/kg, 玉米蛋白粉 corn gluten 661 g/kg, 面粉 wheat flour 166 g/kg, 谷朊粉 wheat flour 800 g/kg, 啤酒酵母 beer yeast 524 g/kg, 豆粕 soybean meal 463 g/kg, 发酵豆粕 fermented soybean meal 504 g/kg。

2) 维生素预混料为每千克饲料提供 Vitamin premix provided the following per kg of diets: VA 10 000 IU, VD₃ 3 000 IU, VE 150 IU, VK₃ 12.17 mg, VB₁ 20 mg, VB₂ 20 mg, VB₃ 100 mg, VB₆ 22 mg, VB₁₂ 0.15 mg, VC 1 000 mg, 生物素 biotin 0.6 mg, 叶酸 folic acid 8 mg, 肌醇 inositol 500 mg。

3) 矿物质预混料为每千克饲料提供 Mineral premix provided the following per kg of diets: I 1.5 mg, Co 0.6 mg, Cu 3 mg, Fe 63 mg, Zn 89 mg, Mn 11.45 mg, Se 0.24 mg, Mg 180 mg。

4) 总能为计算值, 总能 = 23.44 × 粗蛋白质 + 39.2 × 粗脂肪 + 17.2 × 碳水化合物^[14]; 其他营养水平为实测值。Gross energy was a calculated value, gross energy = 23.4 × crude protein + 39.2 × crude lipid + 17.2 × carbohydrate^[14]; while the others nutrient levels were measured values.

1.1.2 试验用鱼与饲养管理

试验所用大口黑鲈购于浙江湖州大明湖水产养殖基地, 暂养 2 周后挑选体格健壮、体表无伤、规格均匀的大口黑鲈 180 条, 平均体重 (4.0 ± 0.1) g, 随机分配到 9 个网箱中, 每个网箱 20 尾, 每组 3 个网箱 (60 尾鱼)。所有网箱设置在室内水泥池中, 网箱的尺寸为 1.4 m × 1.2 m × 1.2 m, 水深

1 m。试验开始后, 每天投喂 2 次 (08:00、17:00), 投喂量为体重的 3% ~ 4%, 并根据摄食情况调整。养殖试验为期 8 周, 期间每周换水 1/3, 并清理池底粪便, 水质条件如下: 氨氮含量 < 0.1 mg/L, 亚硝态氮含量 < 0.01 mg/L, 溶解氧含量 > 5 mg/L, pH 7.0 ~ 7.5, 水温 27 ~ 32 °C。

1.1.3 样品采集

养殖试验开始时,选取 20 尾大口黑鲈保存于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱,用于初始样常规成分测定。养殖试验结束前 3 d,于投喂前采用虹吸法清除网箱底部粪便等污物,投喂 2 h 后用小抄网轻轻捞取网箱底部粪便,取包膜完整的粪便颗粒用于粪便常规成分分析。养殖试验结束后,对所有网箱的鱼进行 24 h 饥饿处理后计数并称量总重,随机选取 3 尾鱼采用 MS-222 麻醉后测量体长体重,然后解剖分离内脏,称量内脏和肝脏重。另外随机选取 3 尾鱼麻醉后于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存用于全鱼常规成分测定。

1.2 试验 2: 发酵豆粕和豆粕中营养物质消化率的测定

1.2.1 试验设计及试验饲料

设计 1 个鱼粉含量为 40% 的基础饲料,基础饲料组成见表 3,然后将豆粕和发酵豆粕分别以 10%、20% 和 30% 的比例与基础饲料混合,配制成 6 组试验饲料: SBM-10 (90% 基础饲料+10% 豆粕)、SBM-20 (80% 基础饲料+20% 豆粕)、SBM-30 (70% 基础饲料+30% 豆粕)、FSBM-10 (90% 基础饲料+10% 发酵豆粕)、FSBM-20 (80% 基础饲料+20% 发酵豆粕)、FSBM-30 (70% 基础饲料+30% 发酵豆粕)。各组饲料中均添加 0.5 g/kg 三氧化二钼作为指示剂用于测定消化率。试验原料处理和饲料制作同试验 1。基础饲料、豆粕和发酵豆粕的营养水平和氨基酸组成见表 4。

表 3 基础饲料组成 (风干物质)

Table 3 Composition of the basal

diet (air-dry basis) g/kg

原料 Ingredients	含量 Content
鱼粉 Fish meal	400.0
大豆浓缩蛋白 Soybean protein concentrate	90.0
玉米蛋白 Corn gluten	90.0
面粉 Wheat flour	200.0
谷朊粉 Wheat gluten	40.0
啤酒酵母 Beer yeast	40.0
鱼油 Fish oil	30.0
豆油 Soybean oil	30.0
大豆磷脂 Soybean phospholipid	30.0
鱿鱼膏 Squid paste	20.0
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	15.0
氯化胆碱 Choline chloride	5.0

续表 3

原料 Ingredients	含量 Content
矿物质预混料 Mineral premix	5.0
维生素预混料 Vitamin premix	5.0
合计 Total	1 000.0

蛋白质原料、维生素预混料和矿物质预混料组成同表 2。

The composition of protein ingredients, vitamin premix and mineral premix were the same as Table 2.

1.2.2 试验用鱼与饲养管理

试验用大口黑鲈购于浙江湖州大明湖水产养殖基地,暂养 2 周后挑选体格健壮、体表无伤、规格均匀的大口黑鲈 315 条,平均体重 (35.7 ± 1.0) g,随机分到 21 个循环水玻璃缸中 ($50\text{ cm} \times 60\text{ cm} \times 50\text{ cm}$),每个玻璃缸饲养 15 尾,每天投喂 2 次 (08:00 和 16:00),投喂量控制在体重的 3% 左右,视摄食情况适当调整,养殖周期为 3 周。养殖期间每天清理粪便残饵并换水,水质条件如下:水温 $27 \sim 29\text{ }^{\circ}\text{C}$,pH $7.0 \sim 7.5$,溶解氧含量 $> 6\text{ mg/L}$,氨氮含量 $< 0.2\text{ mg/L}$,亚硝氮含量 $< 0.1\text{ mg/L}$ 。

1.2.3 样品采集

养殖 2 周后开始收集粪便。投喂后采用虹吸管清理鱼缸底部的粪便和残饵,2 h 后用小抄网轻轻捞取鱼缸底部粪便,取包膜完整的粪便颗粒,于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存备用。

1.3 指标测定

1.3.1 生长性能与形体指标 (试验 1)

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

增重率 (weight gain, WG, %) =

$$100 \times (W_t - W_0) / W_0;$$

饲料系数 (feed conversion ratio, FCR) =

$$W_f / (W_t - W_0);$$

肝体比 (hepatosomatic index, HSI, %) =

$$100 \times W_h / W;$$

脏体比 (viscerosomatic index, VSI, %) =

$$100 \times W_v / W;$$

肥满度 (condition factor, CF, g/cm^3) =

$$100 \times W / L^3。$$

式中: N_t 为终末尾数; N_0 为初始尾数; W_t 为终末体重 (g); W_0 为初始体重 (g); W_f 为摄入饲料量

(g); W_h 为鱼肝脏重(g); W_v 为鱼内脏重(g); W 为鱼体质量(g); L 为鱼体长(cm)。

表 4 基础饲料、豆粕和发酵豆粕的营养水平和氨基酸组成

Table 4 Nutrient levels and amino acid composition of basal diet, soybean meal and fermented soybean meal g/kg

项目 Items	基础饲料 Basal diet	豆粕 Soybean meal	发酵豆粕 Fermented soybean meal
营养水平(风干基础) Nutrient levels (air-dry basis)			
水分 Moisture	75.2	123.5	93.0
粗蛋白质 Crude protein	463.9	463.0	504.0
粗脂肪 Crude lipid	117.0	25.8	32.9
粗灰分 Crude ash	130.6	77.1	84.5
磷 Phosphorus	12.7	5.2	5.4
氨基酸组成(干物质基础) Amino acid composition (DM basis)			
精氨酸 Arginine	24.3	32.2	30.2
组氨酸 Histidine	19.4	25.1	23.8
异亮氨酸 Isoleucine	19.2	18.4	19.8
亮氨酸 Leucine	31.7	31.3	35.7
赖氨酸 Lysine	29.5	18.7	19.4
蛋氨酸 Methionine	6.4	3.8	4.3
苯丙氨酸 Phenylalanine	22.6	24.3	26.2
苏氨酸 Threonine	20.1	18.2	19.8
缬氨酸 Valine	20.8	19.4	20.6
丙氨酸 Alanine	26.0	18.1	21.7
天冬氨酸 Aspartic acid	48.7	54.5	61.5
半胱氨酸 Cysteine	5.4	2.2	4.6
谷氨酸 Glutamic acid	88.1	82.0	87.7
甘氨酸 Glycine	24.3	17.4	19.4
脯氨酸 Proline	23.3	23.9	27.3
丝氨酸 Serine	22.7	23.4	26.3
酪氨酸 Tyrosine	17.0	18.0	20.6
总氨基酸 Total amino acid	459.4	430.9	468.9

1.3.2 常规成分和氨基酸组成

原料、饲料以及全鱼常规成分组成分析参考 AOAC(1995)^[15]方法进行。其中,水分含量采用 105 ℃恒重干燥法测定,粗蛋白质含量采用凯氏定氮法(2300 自动凯氏定氮仪,FOSS,瑞典)测定,粗脂肪含量采用氯仿甲醇提取法测定,粗灰分含量采用 550 ℃马弗炉高温灼烧恒重法测定,磷含量采用钼酸比色法(GB/T 6437—2002)测定,粗纤维含量按照国标法(GB/T 5009.10—2003)测定。

原料以及粪便的氨基酸组成采用氨基酸自动分析仪(S-433D,塞卡姆,德国)测定。分别称量 50 mg 左右原料和 100 mg 左右粪便(均为干物质基础),采用 6 mol/L 盐酸在真空条件下 110 ℃水解 24 h,取 1.0 mL 水解液过滤,置于真空干燥箱

中干燥后,加少许蒸馏水继续干燥,重复干燥 2 次后加入 5 mL 样品稀释液,振荡混匀后采用 0.22 μm 滤膜过滤后上机分析。

1.3.3 抗营养因子含量测定

大豆球蛋白和 β-伴大豆球蛋白含量采用酶联免疫吸附测定(ELISA)测定试剂盒(上海酶联生物科技有限公司)进行测定。称取粉碎后的豆粕和发酵豆粕 0.2 g,加入 2 mL 磷酸缓冲液(pH 7.2~7.4),用液氮迅速冷冻保存,待样品融化后保持在 4 ℃,加入 2 mL 磷酸缓冲液,50 Hz/s 研磨(Tissuelyser-48 组织研磨仪,上海净信实业发展有限公司)60 s,2 500 r/min 离心 20 min,取上清液进行测定。

棉子糖和水苏糖含量采用高效液相色谱仪

(Waters ACQUITY, 美国) 进行测定。精准称取 1 g 粉碎的豆粕和发酵豆粕置于 50 mL 离心管中, 用乙醚除去脂肪后, 加入 40% 的乙腈水溶液, 混匀后于 60 °C 超声波水浴提取 60 min, 10 000 r/min 离心 10 min, 取上清液经 0.22 μm 滤膜过滤后上机测定。

1.3.4 营养物质沉积率和消化率

饲料和粪便中钇元素的含量采用等离子原子发射光谱法 (Vista MPX, Varian Alo Alto, 美国) 测定。称取 0.5 g 饲料和 0.2 g 粪便, 炭化后在马弗炉中 900 °C 灼烧 1 h, 于干燥器中冷却至室温, 加入 2.5 mL 蒸馏水、2.5 mL 硝酸水溶液 (硝酸:蒸馏水=1:1) 和 0.125 mL 双氧水 (30%), 低温加热溶解完全后冷却至室温, 定容到 25 mL 容量瓶。取 5 mL 溶液, 经 0.22 μm 滤膜过滤后上机测定。

饲料中营养物质的表观消化率计算如下:

$$ADCd(\%) = 100 \times [1 - (D_Y \times F) / (F_Y \times D)]$$

式中: ADCd 为饲料中某营养物质的表观消化率 (%); D_Y 为饲料中指示剂的含量 (%); F 为粪便中某营养物质的含量 (%); F_Y 为粪便中指示剂的含量 (%); D 为饲料中某营养物质的含量 (%).

待测原料 (豆粕和发酵豆粕) 某营养物质的表观消化率计算如下:

$$ADCs(\%) = 100 \times (N \times T - b \times N_B \times B) / (r \times N_F)$$

式中: ADCs 为待测原料中某营养物质的表观消化率 (%); N 为混合饲料中某营养成分的含量 (%); T 为混合饲料中某养分的表观消化率 (%);

b 为混合饲料中基础饲料所占比例; N_B 为基础饲料中某营养成分的含量 (%); B 为基础饲料中某营养成分的表观消化率 (%); r 为混合饲料中被测原料所占比例; N_F 被测原料中某营养成分的含量 (%).

营养物质沉积率计算如下:

$$PRR(\%) = 100 \times P_B / P_1$$

$$LRR(\%) = 100 \times L_B / L_1$$

式中: PRR 为蛋白质沉积率 (%); P_B 为鱼体蛋白质增加量 (g); P_1 总蛋白质摄入量 (g); LRR 为脂肪沉积率 (%); L_B 为鱼体脂肪增加量 (g); L_1 为总脂肪摄入量 (g).

1.4 数据分析

采用 SPSS 22.0 版统计软件中 one-way ANOVA 和 two-way ANOVA 程序进行方差分析, 并进行 Duncan 氏法多重比较, 数据采用“平均值±标准差”表示, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 发酵豆粕对大口黑鲈生长性能的影响

由表 5 可知, SBM-30 组的饲料系数和摄食量显著高于对照组 ($P < 0.05$), 肝体比显著低于对照组 ($P < 0.05$); FSBM-30 组的上述指标与对照组没有显著差异 ($P > 0.05$)。各组之间的终末体重、存活率、增重率、肥满度以及脏体比均没有显著差异 ($P > 0.05$)。

表 5 发酵豆粕对大口黑鲈生长性能的影响

Table 5 Effects of fermented soybean meal on growth performance of largemouth bass

项目 Items	初始体重 Initial body weight/g	终末体重 Final body weight/g	存活率 SR/%	摄食量 Feed intake/g	增重率 WGR/%	饲料系数 FCR	肥满度 CF/(g/cm ³)	脏体比 VSI/%	肝体比 HSI/%
对照组 CON group	4.44±0.02	25.70±0.45	100	20.53±0.31 ^b	479.5±7.72	0.96±0.02 ^b	2.23±0.14	10.70±0.76	4.29±0.76 ^a
SBM-30 组 SBM-30 group	4.43±0.04	25.08±0.61	100	21.37±0.32 ^a	466.2±10.29	1.03±0.02 ^a	2.22±0.04	10.29±0.53	3.29±0.15 ^b
FSBM-30 组 FSBM-30 group	4.43±0.03	25.90±0.68	100	20.43±0.35 ^b	484.7±14.71	0.95±0.04 ^b	2.27±0.08	11.05±1.28	4.99±0.36 ^a

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。表 6、表 7、表 8 同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as Table 6, Table 7 and Table 8.

2.2 发酵豆粕对大口黑鲈全鱼常规成分的影响

规成分均没有显著差异 ($P>0.05$)。

由表 6 可知,各组之间的大口黑鲈全鱼的常

表 6 发酵豆粕对大口黑鲈全鱼常规成分的影响

Table 6 Effects of fermented soybean meal on proximate composition of whole body of largemouth bass g/kg

项目 Items	水分 Moisture	粗蛋白质 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	粗灰分 Crude ash
对照组 CON group	717.9±6.3	168.3±5.8	47.1±4.2	38.0±0.7
SBM-30 组 SBM-30 group	712.8±13.0	166.8±9.3	48.5±0.8	40.7±3.2
FSBM-30 组 FSBM-30 group	710.8±9.4	169.1±11.7	47.5±0.3	40.2±0.8

2.3 发酵豆粕对大口黑鲈营养物质表观消化率和沉积率的影响

对照组 ($P<0.05$);FSBM-30 组的干物质表观消化率及蛋白质、脂肪沉积率均显著高于 SBM-30 组 ($P<0.05$),并且与对照组没有显著差异 ($P>0.05$)。各组之间的粗脂肪表观消化率没有显著差异 ($P>0.05$)。

由表 7 可知,SBM-30 组的干物质、粗蛋白质表观消化率及蛋白质、脂肪沉积率均显著低于对

表 7 发酵豆粕对大口黑鲈营养物质表观消化率和沉积率的影响

Table 7 Effects of fermented soybean meal on nutrient apparent digestibilities and retention rates of largemouth bass %

项目 Items	干物质表观消化率 Apparent digestibility of dry matter	粗蛋白质表观消化率 Apparent digestibility of crude protein	粗脂肪表观消化率 Apparent digestibility of crude lipid	蛋白质沉积率 Protein retention rate	脂肪沉积率 Lipid retention rate
对照组 CON group	78.61±2.57 ^a	94.34±0.73 ^a	91.86±0.49	41.54±1.24 ^a	44.60±1.61 ^a
SBM-30 组 SBM-30 group	76.25±2.14 ^b	92.96±0.33 ^b	90.63±0.58	38.54±2.96 ^b	40.56±0.47 ^b
FSBM-30 组 FSBM-30 group	78.35±1.34 ^a	93.84±0.92 ^{ab}	90.88±1.01	42.62±1.73 ^a	44.48±1.82 ^a

2.4 豆粕和发酵豆粕中营养物质的表观消化率

由表 8 可知,随着豆粕混合比例的增加,干物质、粗蛋白质和磷表观消化率逐渐下降,粗脂肪表观消化率逐渐上升;30%混合比例下干物质、粗蛋白质和磷表观消化率显著低于 10%混合比例 ($P<0.05$),粗脂肪表观消化率显著高于 10%和 20%混合比例 ($P<0.05$)。而随着发酵豆粕混合比例的增加,干物质、粗蛋白质和磷表观消化率没有显著差异 ($P>0.05$)。30%混合比例下,发酵豆粕的干物质、粗蛋白质和磷表观消化率显著高于豆粕 ($P<0.05$)。双因素方差分析结果表明,原料显著影响干物质、粗蛋白质、粗脂肪和磷表观消化率 ($P<0.05$),混合比例显著影响粗脂肪和磷表观消化率 ($P<0.05$),原料和混合比例的交互效应显著影响粗脂肪表观消化率 ($P<0.05$)。

2.5 豆粕和发酵豆粕中氨基酸的表观消化率

由表 9 可知,随着豆粕混合比例的增加,总氨基酸表观消化率逐渐降低,30%混合比例下总氨基酸表观消化率显著低于 10%混合比例 ($P<0.05$);而随着发酵豆粕混合比例的增加,总氨基酸消化率没有显著差异 ($P>0.05$)。30%混合比例下,发酵豆粕的总氨基酸表观消化率显著高于豆粕 ($P<0.05$)。双因素方差分析结果表明,原料显著影响组氨酸、异亮氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、缬氨酸、丙氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、脯氨酸、丝氨酸和总氨基酸表观消化率 ($P<0.05$),混合比例显著影响蛋氨酸、丙氨酸和脯氨酸表观消化率 ($P<0.05$),原料和混合比例的交互效应显著影响精氨酸、异亮氨酸、苏氨酸、丙氨酸、甘氨酸、脯氨酸、丝氨酸和总氨基酸表观消化率 ($P<0.05$)。

表8 豆粕和发酵豆粕中营养物质的表观消化率

Table 8 Nutrient apparent digestibilities of soybean meal and fermented soybean meal

%

项目 Items	混合比例 Mix ratio/%	干物质表观消化率 Apparent digestibility of dry matter/%	粗蛋白质表观消化率 Apparent digestibility of crude protein/%	粗脂肪表观消化率 Apparent digestibility of crude lipid/%	磷表观消化率 Apparent digestibility of phosphorus/%
豆粕	10	80.19±4.43 ^a	82.56±2.87 ^d	36.09±4.76 ^c	33.60±3.27 ^b
Soybean meal	20	76.08±5.07 ^{ab}	79.28±3.57 ^{bc}	36.87±3.96 ^c	26.81±2.38 ^c
	30	74.71±3.04 ^b	76.56±1.43 ^c	59.35±1.66 ^b	23.24±4.23 ^c
发酵豆粕	10	79.92±1.77 ^{ab}	86.06±2.68 ^a	64.05±6.04 ^{ab}	48.48±3.00 ^a
Fermented soybean meal	20	82.02±3.83 ^a	85.04±3.50 ^a	69.13±3.30 ^a	48.22±1.00 ^a
	30	81.97±1.76 ^a	84.00±1.05 ^{ab}	60.35±5.80 ^b	46.94±5.07 ^a
双因素方差分析 Two-way ANOVA					
原料 Ingredient		0.024	<0.001	<0.001	<0.001
混合比例 Mix ratio		0.709	0.219	0.008	0.033
原料×混合比例 Ingredient×mix ratio		0.188	0.067	<0.001	0.108

表9 豆粕和发酵豆粕中氨基酸的表观消化率

Table 9 Amino acid apparent digestibilities of soybean meal and fermented soybean meal

%

项目 Items	豆粕 Soybean meal			发酵豆粕 Fermented soybean meal			双因素方差分析 Two-way ANOVA		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%	原料 Ingredient	混合比例 Mix ratio	原料× 混合比例 Ingredient× mix ratio
必需氨基酸 Essential amino acids									
精氨酸 Arginine	98.60 ±1.54 ^a	96.82 ±1.18 ^a	90.55 ±2.82 ^b	90.85 ±5.47 ^b	94.99 ±2.86 ^{ab}	94.75 ±1.36 ^{ab}	0.220	0.193	0.014
组氨酸 Histidine	85.62 ±5.09 ^{abc}	83.43 ±0.87 ^{bc}	79.83 ±3.75 ^c	88.86 ±2.23 ^{ab}	92.08 ±3.83 ^a	91.04 ±4.22 ^a	0.001	0.524	0.192
异亮氨酸 Isoleucine	93.80 ±3.10 ^a	85.23 ±4.75 ^b	86.95 ±4.26 ^b	90.32 ±3.63 ^{ab}	95.23 ±2.49 ^a	91.07 ±0.65 ^{ab}	0.048	0.332	0.017
亮氨酸 Leucine	91.19 ±5.76	88.82 ±3.50	88.60 ±2.95	92.73 ±2.30	94.03 ±0.35	90.13 ±1.27	0.091	0.362	0.534
赖氨酸 Lysine	93.03 ±2.87 ^a	90.23 ±4.04 ^{ab}	85.41 ±2.55 ^b	90.27 ±3.65 ^{ab}	90.71 ±3.37 ^{ab}	89.19 ±1.26 ^{ab}	0.739	0.078	0.227
蛋氨酸 Methionine	84.36 ±2.57 ^b	89.90 ±3.14 ^a	91.46 ±1.83 ^a	89.79 ±1.55 ^a	92.74 ±1.97 ^a	91.94 ±2.25 ^a	0.019	0.007	0.212
苯丙氨酸 Phenylalanine	91.86 ±2.12 ^{ab}	88.80 ±3.76 ^b	89.66 ±1.33 ^{ab}	91.35 ±3.76 ^{ab}	94.10 ±0.27 ^a	91.05 ±1.66 ^{ab}	0.106	0.652	0.164
苏氨酸 Threonine	88.55 ±2.64 ^b	82.52 ±3.42 ^c	83.54 ±3.12 ^c	92.10 ±0.69 ^{ab}	94.61 ±1.42 ^a	91.06 ±0.46 ^{ab}	0.000	0.060	0.021
缬氨酸 Valine	90.89 ±1.86 ^{ab}	90.59 ±2.50 ^{ab}	88.16 ±3.61 ^b	94.57 ±2.86 ^a	95.40 ±4.68 ^a	91.25 ±2.16 ^{ab}	0.021	0.166	0.888
丙氨酸 Alanine	91.93 ±4.79 ^a	84.36 ±4.04 ^{ab}	77.76 ±3.77 ^b	90.25 ±3.09 ^a	90.90 ±5.45 ^a	90.66 ±1.69 ^a	0.008	0.036	0.026

续表 9

项目 Items	豆粕 Soybean meal			发酵豆粕 Fermented soybean meal			双因素方差分析 Two-way ANOVA		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%	原料 Ingredient	混合比例 Mix ratio	原料× 混合比例 Ingredient× mix ratio
非必需氨基酸 Non-essential amino acids									
天冬氨酸 Aspartic acid	93.94 ±2.74 ^{abc}	90.15 ±3.09 ^{bc}	89.59 ±2.92 ^c	94.69 ±2.81 ^{ab}	96.8 ±2.85 ^a	95.65 ±0.45 ^a	0.004	0.555	0.146
半胱氨酸 Cysteine	92.51 ±4.03	94.08 ±3.77	95.44 ±0.99	94.29 ±1.89	94.96 ±3.87	94.55 ±0.07	0.672	0.628	0.725
谷氨酸 Glutamic acid	96.93 ±2.21 ^a	95.23 ±2.88 ^{ab}	92.83 ±2.08 ^c	95.55 ±0.22 ^{ab}	97.03 ±1.50 ^a	95.66 ±1.87 ^{ab}	0.266	0.185	0.198
甘氨酸 Glycine	81.99 ±6.87 ^{ab}	82.84 ±7.92 ^{ab}	69.18 ±3.36 ^b	79.09 ±2.10 ^b	83.36 ±0.82 ^{ab}	88.74 ±1.09 ^a	0.022	0.327	0.002
脯氨酸 Proline	92.96 ±3.47 ^a	91.27 ±3.62 ^a	78.71 ±4.99 ^b	93.01 ±3.44 ^a	92.64 ±2.59 ^a	94.20 ±1.18 ^a	0.004	0.013	0.003
丝氨酸 Serine	94.5 ±3.37 ^a	85.90 ±4.42 ^b	85.57 ±3.65 ^b	92.21 ±1.42 ^a	95.46 ±3.31 ^a	92.77 ±0.30 ^a	0.006	0.102	0.015
酪氨酸 Tyrosine	93.76 ±2.15	92.16 ±6.30	91.78 ±3.41	91.77 ±3.63	94.67 ±0.37	92.48 ±1.24	0.804	0.814	0.538
总氨基酸 Total amino acids	93.90 ±1.29 ^a	90.49 ±2.18 ^{ab}	87.34 ±1.94 ^b	92.16 ±1.81 ^a	94.33 ±2.12 ^a	92.25 ±1.25 ^a	0.012	0.059	0.010

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as below.

3 讨论

3.1 发酵豆粕对大口黑鲈生长性能、体组成和营养物质表观消化率的影响

研究表明,随着饲料中植物性蛋白质原料用量的提高,水产动物对饲料中营养物质的消化率下降,生长受到抑制^[16-18],这主要是由于植物性蛋白质原料中含有较高的抗营养因子、氨基酸组成不均衡以及部分微量营养元素的缺乏。豆粕含有的胰蛋白酶抑制剂、大豆抗原蛋白、大豆凝集素、植酸、低聚糖等抗营养因子,会通过抑制消化酶活性、引发肠道抗原反应和胀气等方式影响鱼类对饲料中营养物质的利用率^[19-20]。王新霞^[21]的研究也发现,在大口黑鲈饲料中添加 20% 的发酵豆粕替代鱼粉不会对大口黑鲈的生长性能产生显著影响。本试验采用豆粕和发酵豆粕替代大口黑鲈基础饲料中 30% 的鱼粉后,各组间的增重率没有显著差异,但豆粕组的摄食量和饲料系数显著上

升。饲料系数的上升表明饲料利用率的下降,这可能与消化道的损伤和消化率的下降有关。Liang 等^[22]发现以植物蛋白质全部替代鱼粉会导致花鲈 (*Lateolabrax japonicus*) 的摄食抑制,而徐韬等^[23]则认为发酵桑叶替代鱼粉并不影响大口黑鲈的摄食率。本试验在养殖过程中发现,豆粕组的大口黑鲈抢食更加活跃,且投喂后排便时间短,排便量大,故豆粕组的高摄食量可能和豆粕引起食糜排空速度加快而产生的强饥饿感有关,具体原因仍有待研究。而发酵豆粕替代饲料中 30% 的鱼粉并未对大口黑鲈的增重率和饲料利用产生显著影响,说明发酵豆粕的营养价值要高于豆粕,这与彭松等^[24]在凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 以及 Shiu 等^[7]在点带石斑鱼上的研究结果一致。

豆粕中的抗营养因子会造成鱼类肠绒毛的损伤并降低消化酶活性^[17,25],而微生物发酵能有效降解抗营养因子,如抗原蛋白和不良寡糖,增加益生菌及其代谢产物含量,从而改善养殖动物的肠

道健康^[26-27]。本试验中,豆粕替代饲料中30%鱼粉后,显著降低了大口黑鲈的干物质和粗蛋白质表观消化率。这与张鑫等^[16]在乌鳢(*Channa argus*)以及 Biswas^[28]在真鲷(*Pagrus major*)上的研究结果类似。也有研究表明,植物蛋白质导致的营养物质消化率下降可能与纤维素含量提高有关,饲料中过高的纤维素会加快食糜在消化道中的排空速度,导致饲料中的营养物质不能被充分吸收^[29]。本试验中,发酵豆粕中的粗纤维含量也较高,并没有降低营养物质的表观消化率,说明在现有配方条件下,粗纤维含量并不是降低消化的主要原因。本试验还发现,豆粕和发酵豆粕替代30%鱼粉并不会对粗脂肪表观消化率产生显著影响,这可能与鱼粉的替代比例较低有关。Yang等^[30]在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)上的研究表明,豆粕替代饲料中60%的鱼粉对粗脂肪表观消化率无显著影响,但豆粕替代饲料中80%的鱼粉显著降低了粗脂肪表观消化率。

3.2 大口黑鲈对豆粕和发酵豆粕中营养物质的表观消化率

本试验采用套算法(在30%混合比例下)计算出大口黑鲈对豆粕中粗蛋白质表观消化率为76.56%,低于王广军等^[31]测得的80.12%。研究表明,豆粕中的大豆球蛋白^[20]能引发牙鲈(*Scophthalmus maximus* L.)幼鱼肠道功能障碍,降低其对饲料中营养物质的消化率,而 β -伴大豆球蛋白^[17]被证实能引起建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)的肠道炎症,并导致肠道消化吸收功能的障碍;而高植物蛋白质饲料中添加赖氨酸和蛋氨酸被证明能提高营养物质的利用率,故抗营养因子的存在以及氨基酸组成不均衡是导致大口黑鲈对豆粕中营养物质消化率较低的主要原因。本试验采用的发酵豆粕由枯草芽孢杆菌、酿酒酵母和乳酸菌二级发酵而来, β -伴大豆球蛋白、大豆球蛋白、棉子糖和水苏糖含量较豆粕分别下降了91.11%、89.31%、94.10%和99.30%,抗营养因子的去除较单枯草芽孢杆菌^[32]或乳酸菌^[33]发酵更加彻底。同时,发酵过程中产生了小肽等活性物质。这些都是发酵豆粕中蛋白质消化率提高的原因。Zhuo等^[34]在点带石斑鱼上的研究也表明了发酵豆粕的蛋白质表观消化率要高于豆粕。

对于粗脂肪表观消化率,Zhuo等^[34]认为微生物发酵原料能够通过提高鱼类消化道脂肪酶的活

性来提高对脂肪的消化吸收。本研究中,在30%混合比例下大口黑鲈对豆粕中粗脂肪表观消化率仅为59.35%,显著低于大黄鱼(*Larimichthys crocea*)^[35]的90.0%和花鲈^[13]的75.47%,而发酵豆粕中的粗脂肪表观消化率达到60.35%。由于原料中的粗脂肪含量较低,受基础饲料(11.54%)中高粗脂肪含量的影响较大,这可能是导致本试验中粗脂肪的表观消化率组内差异较大的原因。植物中的磷主要以植酸钙、镁盐的形式存在,单胃动物因肠道中缺乏植酸酶,不能利用植酸磷,这导致了水产动物对植物性原料中磷的利用率很低,如斑点叉尾鲟(*Ictalurus punctatus*)^[36]对豆粕中磷的利用率仅为29%,本试验结果(23.24%)与之类似。经微生物发酵后,豆粕中的植酸磷转化成无机磷^[37],从而提高鱼类对磷的利用率,本试验也证实了大口黑鲈对发酵豆粕中的磷表观消化率(46.94%)显著高于豆粕。

本试验结果表明,在30%混合比例下大口黑鲈对发酵豆粕中的总氨基酸表观消化率(92.25%)显著高于豆粕(87.34%),这与王文娟^[38]在斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)和军曹鱼(*Rachycentron canadum*)上的研究结果相似。通过微生物发酵,豆粕中总氨基酸含量提高,豆粕氨基酸组成更加合理^[39];而抗营养因子的去除也能改善鱼类肠道健康^[26],这是氨基酸消化率提高的主要原因。另外,本研究还发现,大口黑鲈对原料的总氨基酸消化率要高于蛋白质消化率,这可能与套算法本身的计算原理有关,相似的情况在费树站等^[40]的研究中也有报道。

套算法是测定动物对原料中营养物质消化率的经典方法,该方法假定基础饲料和测试原料中营养物质的可加性以及各原料消化率的独立性。本试验采用不同比例豆粕和发酵豆粕与基础饲料混合来测定大口黑鲈对营养物质的表观消化率,结果表明,随豆粕混合比例的增加,豆粕中干物质、粗蛋白质和磷表观消化率降低,而发酵豆粕的干物质、粗蛋白质和磷表观消化率变化不显著。这表明原料与基础饲料混合比例会显著影响大口黑鲈对原料中营养物质的表观消化率,且不同原料受影响程度存在较大的差异。肉食性鱼类对抗营养因子的耐受度较低^[41],故饲料中抗营养因子含量过高(豆粕比例升高)引发的饲料消化率下降,将导致计算过程中原料表观消化率的下降,而

发酵豆粕中的低抗营养因子含量消除了这种负面效应,故对消化率的影响不大。由此可见,对于抗营养因子含量较高的原料,如以敏感性强的肉食性鱼类为试验对象,按照传统的套算法测定消化率,可能难以得到可靠的数据。

4 结 论

发酵豆粕可降低抗营养因子含量,提高粗蛋白质、氨基酸和磷表观消化率;在含 35% 鱼粉的大口黑鲈饲料中,发酵豆粕可替代 30% 的鱼粉而不会对鱼体增重和饲料利用产生显著影响。

参考文献:

- [1] 王桂芹,李清华.大豆蛋白中的主要抗营养因子对鱼类的影响[J].饲料工业,2007,28(12):44-47.
- [2] 米海峰.不同蛋白源和大豆抗营养因子对牙鲆蛋白消化酶的活性与基因表达的影响[D].博士学位论文.青岛:中国海洋大学,2008.
- [3] DUAN X D, FENG L, JIANG W D, et al. Dietary soybean β -conglycinin suppresses growth performance and inconsistently triggers apoptosis in the intestine of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) in association with ROS-mediated MAPK signalling [J]. Aquaculture Nutrition, 2019, 25(4):770-782.
- [4] AMADOU I, KAMARA M T, AMZA T, et al. Physicochemical and nutritional analysis of fermented soybean protein meal by *Lactobacillus plantarum* Lp6 [J]. World Journal of Dairy & Food Sciences, 2010, 5(2):114-118.
- [5] HONG K J, LEE C H, KIM S W. *Aspergillus oryzae* GB-107 fermentation improves nutritional quality of food soybeans and feed soybean meals [J]. Journal of Medicinal Food, 2004, 7(4):430-435.
- [6] SONG Y S, FRIAS J, MARTINEZ-VILLALUENGA C, et al. Immunoreactivity reduction of soybean meal by fermentation, effect on amino acid composition and antigenicity of commercial soy products [J]. Food Chemistry, 2008, 108(2):571-581.
- [7] SHIU Y L, HSIEH S L, GUEI W C, et al. Using *Bacillus subtilis* E20-fermented soybean meal as replacement for fish meal in the diet of orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*, Hamilton) [J]. Aquaculture Research, 2015, 46(6):1403-1416.
- [8] WANG L, ZHOU H H, HE R J, et al. Effects of soybean meal fermentation by *Lactobacillus plantarum* P8 on growth, immune responses, and intestinal morphology in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. Aquaculture, 2016, 464:87-94.
- [9] CHEN C C, SHIH Y C, CHIOU P W S, et al. Evaluating nutritional quality of single stage-and two stage-fermented soybean meal [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2010, 23(5):598-606.
- [10] WENG T M, CHEN M T. Effect of two-step fermentation by *Rhizopus oligosporus* and *Bacillus subtilis* on protein of fermented soybean [J]. Food Science and Technology Research, 2011, 17(5):393-400.
- [11] 李锡阁,周成肿,吴志新,等.微生物复合发酵对豆粕营养品质的影响[J].华中农业大学学报,2019,38(6):123-131.
- [12] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广站,中国水产学会.中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社2019:25.
- [13] 付晶晶,黄燕华,曹俊明,等.花鲈对6种饲料原料的表观消化率[J].饲料研究,2014(3):48-54.
- [14] CHO C Y, SLINGER S J, BAYLEY H S. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry, 1982, 73(1):25-41.
- [15] AOAC. Official methods of analysis of AOAC international [M]. Washington, D.C.: AOAC, 1995.
- [16] 张鑫,韩蓓,胡俊涛,等.豆粕替代鱼粉对乌鳢生长性能、蛋白质利用及肠道组织形态的影响[J].动物营养学报,2020,32(6):1-9.
- [17] ZHANG J X, GUO L Y, FENG L, et al. Soybean β -conglycinin induces inflammation and oxidation and causes dysfunction of intestinal digestion and absorption in fish [J]. PLoS One, 2013, 8(3):e58115.
- [18] GILANI G S, XIAO C W, COCKELL K A. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality [J]. British Journal of Nutrition, 2012, 108(Suppl.2):S315-S32.
- [19] JAIN A K, KUMAR S, PANWAR J D S. Antinutritional factors and their detoxification in pulses—a review [J]. Agricultural Reviews, 2009, 30(1):64-70.
- [20] LI Y X, YANG P, ZHANG Y J, et al. Effects of dietary glycinin on the growth performance, digestion, intestinal morphology and bacterial community of juvenile turbot, *Scophthalmus maximus* L. [J]. Aquaculture, 2017, 479:125-133.
- [21] 王新霞.发酵豆粕替代鱼粉在加州鲈饲料中的研究[J].饲料与畜牧,2009(1):58-61.

- [22] LIANG X F, HAN J, XUE M, et al. Growth and feed intake regulation responses to anorexia, adaptation and fasting in Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* when fishmeal is totally replaced by plant protein [J]. *Aquaculture*, 2019, 498: 528–538.
- [23] 徐韬, 彭祥和, 陈拥军, 等. 发酵桑叶替代鱼粉对大口黑鲈生长、脂质代谢与抗氧化能力的影响 [J]. *水产学报*, 2016, 40(9): 1408–1415.
- [24] 彭松, 张敏, 李小勤, 等. 发酵豆粕替代鱼粉对凡纳滨对虾的作用效果研究 [J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(4): 103–109, 115.
- [25] GU M, BAI N, XU W, et al. Effects of dietary β -conglycinin and glycinin on digestive enzymes activities, intestinal histology and immune responses of juvenile turbot *Scophthalmus maximus* [J]. *Aquaculture Research*, 2016, 47(3): 1001–1008.
- [26] WANG P, ZHOU Q C, FENG J, et al. Effect of dietary fermented soybean meal on growth, intestinal morphology and microbiota in juvenile large yellow croaker, *Larimichthys crocea* [J]. *Aquaculture Research*, 2019, 50(3): 748–757.
- [27] CATALÁN N, VILLASANTE A, WACYK J, et al. Fermented soybean meal increases lactic acid bacteria in gut microbiota of atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 2017, 10(3): 566–576.
- [28] BISWAS A K, KAKU H, JI S C, et al. Use of soybean meal and phytase for partial replacement of fish meal in the diet of red sea bream, *Pagrus major* [J]. *Aquaculture*, 2007, 267(1/2/3/4): 284–291.
- [29] CHERBUT C, AUBE A C, MEKKI N, et al. Digestive and metabolic effects of potato and maize fibres in human subjects [J]. *British Journal of Nutrition*, 1997, 77(1): 33–46.
- [30] YANG Y H, WANG Y Y, LU Y, et al. Effect of replacing fish meal with soybean meal on growth, feed utilization and nitrogen and phosphorus excretion on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture International*, 2011, 19(3): 405–419.
- [31] 王广军, 吴锐全, 谢骏, 等. 大口黑鲈对四种蛋白质饲料原料的表观消化率研究 [J]. *渔业现代化*, 2008, 35(6): 36–39.
- [32] 张煜. 新型枯草芽孢杆菌的研发及其发酵饲料在仔猪上的应用研究 [D]. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学, 2017.
- [33] REFSTIE S, SAHLSTROM S, BRÅTHEN E, et al. Lactic acid fermentation eliminates indigestible carbohydrates and antinutritional factors in soybean meal for Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Aquaculture*, 2005, 246(1/2/3/4): 331–345.
- [34] ZHUO L C, LIU K, LIN Y H. Apparent digestibility of soybean meal and *Lactobacillus* spp. fermented soybean meal in diets of grouper, *Epinephelus coioides* [J]. *Aquaculture Research*, 2016, 47(3): 1009–1012.
- [35] 李会涛, 麦康森, 艾庆辉, 等. 大黄鱼对几种饲料蛋白质原料消化率的研究 [J]. *水生生物学报*, 2007, 31(3): 370–376.
- [36] WILSON R P, ROBINSON E H, GATLIN III D M, et al. Dietary phosphorus requirement of channel catfish [J]. *The Journal of Nutrition*, 1982, 112(6): 1197–1202.
- [37] 陈莹. 豆粕发酵工艺改进与发酵豆粕功能拓展的研究 [D]. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学, 2005.
- [38] 王文娟. 斜带石斑鱼、军曹鱼和凡纳滨对虾对常用饲料原料表观消化率的研究 [D]. 硕士学位论文. 湛江: 广东海洋大学, 2012.
- [39] 杨旭, 蔡国林, 曹钰, 等. 固态发酵提高豆粕蛋白含量的条件优化研究 [J]. *中国酿造*, 2008(5): 17–20, 38.
- [40] 费树站, 刘昊昆, 韩冬, 等. 不同饲料原料对黄颡鱼表观消化率及消化酶活性的影响 [J]. *水生生物学报*, 2020, 44(2): 357–363.
- [41] 谷珉. 影响海水鱼虾对植物蛋白利用的抗营养因子和蛋氨酸的研究 [D]. 博士学位论文. 青岛: 中国海洋大学, 2013.

Evaluation of Nutrient Value of Fermented Soybean Meal in Diet for Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*)

HE Ming^{1,2,3} YU Yifeng^{1,2,3} LI Xiaoqin^{1,2,3} DUAN Zhipeng¹ CAI Zhongqiu¹ LENG Xiangjun^{1,2,3*}

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Centre for Research on Environmental Ecology and Fish Nutrition of Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: A feeding experiment and a digestibility experiment were conducted to evaluate the nutrient value of soybean meal (SBM) and fermented soybean meal (FSBM) in diet for largemouth bass. Experiment 1: a total of 180 largemouth bass with average body weight of (4.0±0.1) g were randomly divided into 3 groups with 3 replicates per group and 20 fish per replicate. Fish in the control group were fed a basal diet which the fish meal content was 35%, and the others in experimental groups (SBM-30 and FSBM-30 groups) were fed the experimental diets which the fish meal in basal diet was replaced by SBM and FSBM at the ratio of 30%. The experiment lasted for 8 weeks. Experiment 2: a total of 315 largemouth bass with average body weight of (35.7±1.0) g were randomly divided into 7 groups with 3 replicates per group and 15 fish per replicate. A basal diet with fish meal content of 40% was prepared, and then SBM and FSBM were mixed with the basal diet at the ratios of 10%, 20% and 30%, respectively. Prepared 6 groups of experimental diets, feeding the largemouth bass for 2 weeks, and then the feces were collected for analysis the nutrient apparent digestibilities of SBM and FSBM in different mix ratio for largemouth bass using a substitution method. The results showed as follows: 1) the feed conversion ratio and feed intake of SBM-30 group were significantly higher than those of the control group ($P<0.05$), and the hepatosomatic index was significantly lower than that of the control group ($P<0.05$); the above indicators of FSBM-30 group had no significant difference with the control group ($P>0.05$). The apparent digestibilities of dry matter and crude protein of SBM-30 group were significantly lower than those of the control group ($P<0.05$). 2) The apparent digestibilities of dry matter, crude protein, phosphorus and total amino acid in 30% mix ratio were significantly lower than those in 10% mix ratio ($P<0.05$), and the crude lipid apparent digestibility was significantly higher than that in 10% and 20% mix ratios ($P<0.05$); in 30% mix ratio, the apparent digestibilities of dry matter, crude protein, phosphorus and total amino acid of FSBM were significantly higher than that of SBM ($P<0.05$). In conclusion, the apparent digestibilities of dry matter, crude protein, phosphorus and total amino acid of SBM significantly increase after fermentation, and FSBM can replace 30% fish meal in the diet which containing 35% fish meal without negative effects on weight gain and feed utilization of largemouth bass. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(10):4943-4955]

Key words: largemouth bass; soybean meal; fermented soybean meal; growth performance; apparent digestibilities