

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15303

发酵啤酒糟替代配合饲料中豆粕对奥尼罗非鱼生长与生化指标的影响

李小霞, 邱彬崇, 柳碧薇, 甘炼, 潘庆

华南农业大学 动物科学学院, 广东 广州 510642

摘要: 以发酵啤酒糟分别替代饲料中 0、20%、40%、60%、80%和 100%的豆粕, 配制成 6 种等氮等能的试验饲料, 研究发酵啤酒糟对奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureu*)生长性能、体组成和血清生化指标的影响, 以探明发酵啤酒糟在鱼类配合饲料中的适宜用量。将 540 尾初始体重为(3.00±0.08) g 的奥尼罗非鱼随机分为 6 个试验组, 每组 3 个重复, 每个重复 30 尾鱼, 在室内循环水养殖系统中进行为期 60 d 的生长试验。结果表明: 当发酵啤酒糟替代豆粕的比例在 0~60%时, 各试验组间增重率、特定生长率、饲料效率和蛋白质效率均无显著差异; 超过 60%时, 生长性能显著下降($P<0.05$)。以增重率和饲料效率为判据, 通过折线模型分析得到, 奥尼罗非鱼幼鱼饲料中发酵啤酒糟替代豆粕的最适比例分别为 54.1%和 55.4%。随着发酵啤酒糟替代豆粕比例的升高, 试验鱼肌肉和全鱼组织脂肪含量及脏体比、肝体比均呈下降趋势, 而水分和灰分呈上升趋势($P>0.05$)。血清谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)的活性及血糖含量随着发酵啤酒糟替代比例的增加而升高, 当替代比例超过 40%时, 血清 AST 和 ALT 活性及血糖含量显著高于对照组($P<0.05$)。血清甘油三酯和胆固醇含量则随替代比例的增加而呈下降趋势, 替代比例超过 40%时, 甘油三酯含量显著低于对照组($P<0.05$); 当替代比例超过 60%时, 胆固醇含量显著低于对照组($P<0.05$)。在本试验条件下, 综合考虑生长和血清生化指标, 奥尼罗非鱼饲料中发酵啤酒糟替代豆粕的最适比例为 54.1%~55.4%。

关键词: 奥尼罗非鱼; 发酵啤酒糟; 生长性能; 体成分; 血清生化指标

中图分类号: S963.71

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)02-0396-10

豆粕相对于其他植物蛋白源, 具有蛋白含量高、氨基酸配比平衡、消化率高等优点, 因而成为目前水产界最为认可的植物蛋白源之一^[1]。随着水产养殖业的迅猛发展, 豆粕价格激增, 给饲料加工业和养殖业的可持续发展造成了巨大的压力。因此, 调整饲料原料组成, 开发并利用能替代豆粕的其他蛋白质饲料原料成了当前养殖业可持续发展的一个重要研究方向。

啤酒糟(brewer's dried grain)是啤酒工业的主要副产品, 来源丰富, 价格低廉, 具有较高的营养价值^[2]。鉴于前人及本实验室在罗非鱼的研究中均发现啤酒糟本身营养不均衡, 如粗纤维过

多、限制性氨基酸含量偏低等, 并不完全符合养殖动物的营养需求, 仅可替代 27.0%~28.9%的豆粕^[3], 故其在养殖业上的应用受到限制, 因此需要从生产工艺和处理方法上对啤酒糟进行二次处理, 提高啤酒糟的饲用效率^[4-5]。研究表明, 微生物发酵技术不仅可提高受试原料的蛋白和氨基酸含量, 而且可降低原料中的纤维、非淀粉多糖和抗营养因子的含量, 从而改善原料的营养结构, 提高营养价值。有关啤酒糟经发酵处理后作为蛋白源用于养殖试验的文章报道较少^[6-7], 本试验首次将发酵啤酒糟(fermented brewer's grain)作为蛋白源用于罗非鱼配合饲料中, 通过养殖试验对经发

收稿日期: 2015-08-02; 修订日期: 2015-09-23.

基金项目: 广东省科技计划项目 (2009B020309001).

作者简介: 李小霞(1985-), 女, 博士研究生, 从事水产动物营养与饲料科学研究. E-mail: xiaoxljaney@163.com

通信作者: 潘庆, 教授, 博士生导师. E-mail: qpan@scau.edu.cn

酵处理后啤酒糟的营养价值做出客观的评价。

奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureu*)为杂食性鱼类,具有良好的杂种优势,已成为中国主要的罗非鱼养殖品种。本试验研究了饲料中添加不同水平发酵啤酒糟替代豆粕对奥尼罗非鱼幼鱼生长、体成分和机体生理生化指标的影响,探讨奥尼罗非鱼饲料中发酵啤酒糟的适宜添加水平,为发酵啤酒糟在奥尼罗非鱼日粮中的合理利用提供理论基础和数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

试验饲料以豆粕、菜粕、棉粕、花生粕、鱼粉为主要蛋白源,玉米油为脂肪源。以发酵啤酒糟分别替代 0、20%、40%、60%、80%、100%的豆粕,配制成 6 种等氮(蛋白水平为 30.7%)等能(能量水平为 18.1 MJ/kg)的试验饲料,并分别标记 F0 (对照组)、F20、F40、F60、F80、F100 (表 1)。

表 1 试验饲料组成及营养水平
Tab. 1 Composition and nutrient levels of the experimental diets %

原料 ingredient	组别 group					
	F0	F20	F40	F60	F80	F100
豆粕 soybean meal	20.00	16.00	12.00	8.00	4.00	0.00
发酵啤酒糟 ¹⁾ fermented brewer's grain ¹⁾	0.00	6.00	12.00	18.00	24.00	30.00
棉粕 cottonseed meal	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
花生粕 peanut meal	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
菜粕 rapeseed meal	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
鱼粉 fish meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
次粉 wheat middling	36.00	34.00	32.00	30.00	28.00	26.00
玉米油 corn oil	4.30	4.00	3.80	3.60	3.40	3.20
VC 酯 VC ester	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
包膜赖氨酸 ²⁾ coated lysine (50%) ²⁾	0.10	0.17	0.23	0.30	0.37	0.43
包膜蛋氨酸 ²⁾ coated methionine (50%) ²⁾	0.57	0.55	0.54	0.52	0.50	0.48
维生素预混料 ³⁾ vitamin premix ³⁾	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
矿物质预混料 ⁴⁾ mineral premix ⁴⁾	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
氯化胆碱 ⁵⁾ choline chloride (50%) ⁵⁾	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
食盐 salt	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
羧甲基纤维素钠 sodium carboxymethyl cellulose	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
微晶纤维素 microcrystalline cellulose	0.99	1.24	1.39	1.54	1.69	1.85
乙氧基喹啉 ethoxy quinoline	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
营养成分(% 干物质) ⁵⁾ proximate composition (% dry matter) ⁵⁾						
粗蛋白 crude protein	30.72	30.73	30.69	30.75	30.77	30.75
粗脂肪 crude lipid	5.65	5.68	5.63	5.70	5.70	5.75
灰分 ash	6.63	6.06	5.65	5.60	5.54	5.62
总磷 phosphorous	0.94	0.87	0.82	0.83	0.81	0.86
总能/(MJ·kg ⁻¹) gross energy	18.15	18.10	18.09	18.19	18.12	18.08

注: 1) 发酵啤酒糟由广州市博善生物饲料有限公司提供, 粗蛋白为 37.44%, 粗脂肪为 5.20%; 2) 包膜赖氨酸和包膜蛋氨酸由广州飞禧特水产科技有限公司提供, 有效含量 50%; 3) 维生素预混合料配方为(g/kg 预混料, 生产单位同前): VA, 3200000 IU; VD, 1600000 IU; VE, 16; VK, 4; VB₁, 4; VB₂, 8; VB₆, 4.8; VB₁₂, 0.016; 烟酸, 28; 泛酸钙, 16; 叶酸, 1.28; 生物素, 0.064; 肌醇, 140; 米糠, 777.84; 4) 矿物质预混料配方为(g/kg 预混料, 生产单位同前): 钙, 230; 钾, 36; 镁, 9; 铁, 10; 锌, 8; 锰, 1.9; 铜, 1.5; 钴, 0.250; 碘, 0.032; 硒, 0.05; 5) 实测值。

Note: 1) Crude protein: 37.44%; crude lipid: 5.20%, Guangzhou Prosyn Microbial Feed Co., Ltd, China; 2) Coated lysine and methionine (50%), Guangzhou Feixite Aquatic Technology Co., Ltd, China; 3) Vitamin premix(g/kg, Guangzhou Feixite Aquatic Technology Co. Ltd., China): VA, 3200000 IU; VD, 1600000 IU; VE, 16; VK, 4; VB₁, 4; VB₂, 8; VB₆, 4.8; VB₁₂, 0.016; niacin, 28; calcium pantothenate, 16; folic acid, 1.28; biotin, 0.064; inositol, 140; rice chaff, 777.84; 4) Mineral premix (g/kg, Guangzhou Feixite Aquatic Technology Co. Ltd., China): Ca, 230; K, 36; Mg, 9; Fe, 10; Zn, 8; Mn, 1.9; Cu, 1.5; Co, 0.25; I, 0.032; Se, 0.05; 5) Measured values.

添加适量包膜型赖氨酸和蛋氨酸(均由广州飞禧特水产科技有限公司提供,有效含量 50%)到各试验组以满足奥尼罗非鱼的生长需求^[8]。各原料及试验饲料的氨基酸组成见表 2(其他蛋白源氨基酸组成见文献[9])。

饲料原料经粉碎全部过 40 目筛,按配方比例准确称重后混合均匀,微量成分采取逐级扩大法添加,于混合机中混合均匀,然后加入玉米油和占饲料干重 30%的水,用搅拌机搅拌 15 min。将搅拌好的饲料用双螺杆挤压机制成粒径为 1.5 mm 的颗粒饲料,于 50℃下烘干至水分含量在 10%以下,然后用干净的塑料密封袋编号分装,-20℃冰箱中保存备用。

1.2 试验鱼及饲养管理

试验用奥尼罗非鱼由广州龙洞鱼苗场提供,为当年培育鱼苗,养殖试验在华南农业大学动物科学学院室内循环水养殖系统中进行。正式试验前先将试验鱼驯养 15 d,期间投喂对照组饲料。试验开始前奥尼罗非鱼禁食 24 h 后,选取规格一致、体格健壮的初始体重为(3.00±0.08) g 幼鱼 540 尾,随机放入 18 个养殖桶(水体容积约 350 L)中,每桶 30 尾鱼,每试验组设 3 个重复,养殖试验持续 60 d。每天按 4%~5%的投喂率投喂 2 次(9:30、17:30)。每两周称重 1 次,调整投饲量。每天记录投喂量、水温 and 死亡鱼的体重。养殖期间不断充氧,水温为(26.6±1.2)℃,pH 为 7.4~7.8,溶解氧>5.0 mg/L,氨氮<0.01 mg/L。

1.3 样品采集及分析

试验结束后,禁食 24 h,随后每桶鱼用抹布

吸干鱼体表水分后称重、计数。用 50 mg/L 的 MS-222(上海源叶生物科技有限公司)对试验鱼进行麻醉处理。然后每桶随机取 6 尾鱼,装入密封袋中于-20℃冰箱保存备用,用于全鱼常规体成分分析。另每桶随机取 8 尾鱼,测体重、体长,然后用 1 mL 一次性无菌注射器从尾静脉采血,室温静置 1 h,以 5 400 r/min 于 4℃下离心 15 min,取上清液分装,-80℃冰箱保存待测。随后将鱼解剖分离出内脏和肝胰腺,分别称重,用于鱼体形态指标的测定。

1.4 指标测定与方法

试验原料、饲料、鱼体和肌肉样品常规成分测定采用 AOAC^[9]的方法。其中,水分的测定为 105℃烘干恒重法(24 h);粗蛋白的测定为凯氏定氮法,采用瑞典 TECATOR 公司 1030 型蛋白质自动分析仪;粗脂肪的测定为索氏抽提法;粗灰分的测定为箱式马弗炉 550℃灼烧法(4 h);总磷含量采用钼黄比色法测定;总能采用氧弹式热量计测定(德国 IKA-C2000);氨基酸含量利用全自动氨基酸分析仪(日立 L-8900)测定;血清谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)和碱性磷酸酶(AKP)活性及胆固醇(CHO)、甘油三酯(TG)和血糖(GLU)含量利用全自动生化分析仪测定(日立 L-7060)。相关生长指标计算公式如下:

增重率(weight gain, WG, %)=100×(W_t-W₀)/W₀;

特定生长率(specific growth rate, SGR, %·d⁻¹) = 100×(ln W_t-ln W₀)/t;

表 2 原料及饲料中必需氨基酸组成
Tab. 2 Essential amino acid composition of ingredients and experimental diets

		% 干物质 dry matter						
氨基酸 amino acid	发酵啤酒糟 fermented brewers' grain	F0	F20	F40	F60	F80	F100	
苏氨酸 Thr	1.54	1.21	1.23	1.24	1.26	1.27	1.28	
缬氨酸 Val	1.87	1.55	1.55	1.56	1.57	1.58	1.58	
蛋氨酸 Met	0.63	0.6	0.61	0.63	0.65	0.66	0.67	
异亮氨酸 Ile	1.44	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	
亮氨酸 Leu	2.84	2.23	2.24	2.26	2.27	2.28	2.29	
苯丙氨酸 Phe	1.94	1.51	1.53	1.54	1.56	1.57	1.58	
组氨酸 His	0.81	0.71	0.71	0.72	0.72	0.72	0.73	
赖氨酸 Lys	1.31	1.69	1.68	1.66	1.65	1.64	1.63	
精氨酸 Arg	2.25	2.45	2.45	2.45	2.44	2.44	2.43	

饲料效率(feed efficiency, FE, %) =100×(W_t−W₀)/FI;

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER, %) = (W_t−W₀)/(FI×P);

成活率(survival rate, SR, %) =100×N_t/N₀;

脏体比(viscerosomatic index, VSI, %) =100×W_v/W_b

肝体比(hepatosomatic index, VSI, %) =100×W_l/W_b;

肥满度(condition factor, CF, %) =100×W_b/L_t³ ;
式中, W₀ 为试验开始时鱼体重(g); W_t 为试验结束时鱼体重(g); t 为养殖天数(d)。FI 为饲料摄入的干物质的量(g); P 为饲料蛋白含量(%); N₀ 为试验开始时鱼的尾数; N_t 为试验结束时鱼的尾数; W_v 为每尾鱼内脏团重(g); W_l 为每尾鱼肝脏重(g); W_b 为每尾鱼体重(g); L_t 为试验结束时鱼的体长(cm)。

1.5 数据处理

采用 SPSS11.0 软件对数据统计分析, 先对数据进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 若组间差异显著, 再用 Duncan’s 检验进行多重比较, 显著性水平为 P<0.05。所有试验数据以平均值±标准误($\bar{x} \pm SE$)表示。

采用折线模型评估奥尼罗非鱼获得最大生长时饲料中发酵啤酒糟替代豆粕适宜比例^[10]。所用的折线模型方程为 Y=L−U(X−R), Y 为评估配合量

的参数, L、R 为折点出现的坐标(R, L)。R 为适宜的发 酵啤酒糟替代豆粕的比例, 当 X>R, U 为 X 所在直线的斜率, 当 X<R, 定义 X−R=0。

2 结果与分析

2.1 发酵啤酒糟替代豆粕对奥尼罗非鱼生长和饲料利用率的影响

经过 60 d 的饲养试验发现, 饲料发酵啤酒糟替代豆粕比例对奥尼罗非鱼的成活率无显著性影响, 各试验组成活率均在 95%以上(P>0.05)。发酵啤酒糟替代豆粕比例显著影响了奥尼罗非鱼的末体重、WG、SGR、FE 和 PER (P<0.05) (表 3)。发酵啤酒糟替代比例在 0~60%时, 试验鱼生长性能组间差异不显著(P>0.05), 且 F40 组试验鱼的生长性能均好于其他试验组(P>0.05); F80 组试验鱼的末体重、WG、SGR、FE 和 PER 显著低于 F0 组和 F40 组(P<0.05), 与 F20 和 F60 组差异不显著(P>0.05); F100 组试验鱼的各项生长指标均显著低于其他试验组(P<0.05)。以 WG 和 FE 为评判依据分别做折线模型分析, 结果表明, 奥尼罗非鱼饲料中发酵啤酒糟替代豆粕的最佳比例分别为 54.1%和 55.4% (图 1)。

2.2 发酵啤酒糟替代豆粕对奥尼罗非鱼体成分和形体指标的影响

发酵啤酒糟替代豆粕对奥尼罗非鱼体成分和形体指标的影响如表 4 所示。饲料发酵啤酒糟替

表 3 发酵啤酒糟替代豆粕对奥尼罗非鱼生长和饲料利用率的影响
Tab. 3 Effects of dietary soybean meal replaced by fermented brewer’s grain on growth performance and feed utilization of hybrid tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*

项目 item	组别 group					
	F0	F20	F40	F60	F80	F100
初体重/g initial body weight	3.04±0.03	3.05±0.01	3.06±0.02	3.06±0.03	3.07±0.00	3.07±0.02
末体重/g final body weight	24.55±0.23 ^a	24.43±0.29 ^{ab}	24.67±0.27 ^a	23.92±0.01 ^{ab}	23.73±0.23 ^b	21.36±0.37 ^c
增重率/% WG	707.68±7.17 ^a	702.08±10.99 ^{ab}	706.35±12.07 ^a	681.07±6.47 ^{ab}	672.28±7.43 ^b	594.45±11.65 ^c
特定生长率/(%·d ⁻¹)SGR	3.48±0.01 ^a	3.47±0.02 ^{ab}	3.48±0.03 ^a	3.43±0.01 ^{ab}	3.40±0.02 ^b	3.23±0.03 ^c
饲料效率/% FE	79.61±0.79 ^a	79.15±1.11 ^{ab}	79.94±1.05 ^a	77.13±0.15 ^{ab}	76.41±0.84 ^b	67.60±1.36 ^c
蛋白质效率/PER	2.65±0.03 ^a	2.60±0.04 ^{ab}	2.63±0.03 ^a	2.55±0.01 ^{ab}	2.51±0.03 ^b	2.22±0.04 ^c
成活率/% SR	98.89±1.11	100.00±0.00	98.89±1.11	97.78±1.11	98.89±1.11	100.00±0.00

注: 同一行数据肩标不同上标字母表示差异显著(P<0.05).
Note: Values with different superscripts in the same row are significantly different (P<0.05).

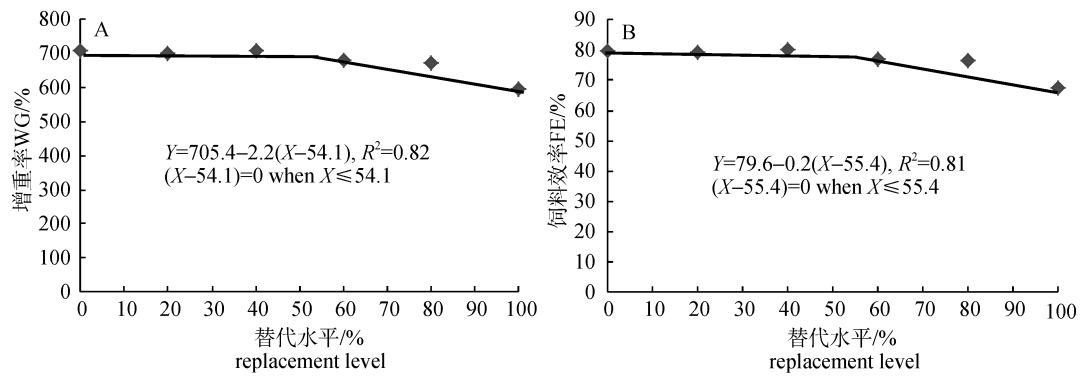


图 1 发酵啤酒糟替代豆粕水平与增重率(A)、饲料效率(B)间的折线模型分析

Fig. 1 Relationship between weight gain (WG), feed efficiency (FE) and dietary replacement of soybean meal on broken-line analysis

表 4 发酵啤酒糟替代豆粕对奥尼罗非鱼体成分及形体指标的影响

Tab. 4 Effects of dietary soybean meal replaced by fermented brewer's grain on whole body and muscle composition and morphological indices of hybrid tilapia *Oreochromis niloticus*×*O. aureus*

n=3; $\bar{x}\pm\text{SE}$; % (湿重 wet weight)

项目 item		组别 groups					
		F0	F20	F40	F60	F80	F100
全鱼 whole body	水分 moisture	69.89±0.04	69.96±0.53	70.30±0.17	70.77±0.35	69.81±0.28	69.98±0.49
	粗蛋白 crude protein	14.98±0.04	15.19±0.39	14.81±0.09	14.77±0.04	14.98±0.06	14.94±0.12
	粗脂肪 crude lipid	10.74±0.18	10.65±0.39	9.78±0.27	10.09±0.14	10.67±0.32	10.31±0.58
	灰分 ash	9.77±0.30 ^b	9.78±0.31 ^b	10.64±0.19 ^{ab}	11.39±0.10 ^a	10.74±0.36 ^{ab}	11.29±0.43 ^a
肌肉 muscle	水分 moisture	76.62±0.17	77.05±0.05	77.25±0.11	77.28±0.04	77.17±0.13	77.18±0.59
	粗蛋白 crude protein	17.66±0.15	17.66±0.14	17.27±0.06	17.25±0.12	17.30±0.25	17.23±0.45
	粗脂肪 crude lipid	1.68±0.01	1.64±0.03	1.61±0.04	1.59±0.10	1.54±0.06	1.53±0.03
	灰分 ash	5.91±0.04	6.08±0.30	6.14±0.25	6.03±0.06	6.15±0.09	6.16±0.14
脏体比 viscerosomatic index, VSI		13.14±0.15 ^a	12.63±0.31 ^{ab}	12.73±0.25 ^{ab}	12.91±0.74 ^{ab}	12.92±0.95 ^{ab}	12.31±1.29 ^b
肝体比 hepatosomatic index, HSI		3.02±0.26	2.75±0.21	2.75±0.25	2.71±0.15	2.43±0.21	2.62±0.25
肥满度 condition factor, CF		2.56±0.18	2.26±0.15	2.73±0.19	2.62±0.18	2.64±0.17	2.64±0.20

注：同一行数据上标不同字母表示差异显著(P<0.05).
Note: Values with different superscripts in the same row are significantly different (P<0.05).

代比例对奥尼罗非鱼全鱼和肌肉组织中水分、粗蛋白和粗脂肪含量以及肝体比、肥满度均无显著影响(P>0.05)。全鱼和肌肉水分含量随饲料发酵啤酒糟替代比例的增加而呈先上升后下降的趋势(P>0.05); 肌肉组织蛋白含量随替代比例的增加而呈下降趋势(P>0.05); 随发酵啤酒糟替代比例的增加, 全鱼和肌肉组织脂肪含量则呈下降趋势, 而灰分含量呈上升趋势(P>0.05); F60和F100组全鱼灰分含量显著高于F0和F20组(P<0.05); 脏体比和肝体比随替代比例的增加而呈下降趋势(P>0.05); 其中, F100组试验鱼的脏体比显著低于对照组(P<0.05), 而当发酵啤酒糟替代比例在

0~80%时试验鱼的脏体比无显著性差异(P>0.05)。
2.3 发酵啤酒糟替代豆粕对奥尼罗非鱼血清生化指标的影响

由表 5 可以看出, 饲料发酵啤酒糟替代豆粕比例显著影响奥尼罗非鱼血清 ALT 和 AST 活性及 CHO、TG 和 GLU 含量(P<0.05)。血清碱性磷酸酶活性随替代比例的增加而呈上升趋势, 但未达到显著水平(P>0.05)。试验鱼血清 ALT 和 AST 活性及 GLU 含量随饲料发酵啤酒糟含量的增加而显著升高, 血清 CHO 和 TG 含量则显著下降(P<0.05)。当发酵啤酒糟替代比例超过 40%时, 血清 ALT 和 AST 活性显著高于F0和F20组(P<0.05),

而 GLU 含量显著高于 F0 组($P<0.05$)。当发酵啤酒糟替代比例超过 60%时, 血清 CHO 和 TG 含量显著低于 F0、F2 和 F40 组($P<0.05$), 但与 F60 组差异不显著($P>0.05$)。当发酵啤酒糟替代比例在 20%~60%时, 血清 CHO、TG 和 GLU 含量及 ALT 活性组间无显著性差异($P>0.05$)。

表 5 发酵啤酒糟替代豆粕对奥尼罗非鱼血清生化指标的影响
Tab. 5 Effects of dietary soybean meal replaced by fermented brewer's grain on serum biochemical indices of hybrid tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*

项目 item	组别 groups					
	F0	F20	F40	F60	F80	F100
谷丙转氨酶/(U·L ⁻¹)ALT	50.23±1.59 ^d	52.73±1.28 ^{cd}	54.53±3.12 ^{bcd}	58.77±1.82 ^{abc}	61.20±1.93 ^{ab}	65.57±4.26 ^a
谷草转氨酶/(U·L ⁻¹)AST	213.83±13.58 ^c	225.30±10.55 ^c	252.30±12.61 ^{bc}	279.03±14.55 ^{ab}	313.60±18.48 ^a	311.50±17.81 ^a
血糖/(mmol·L ⁻¹)GLU	9.73±0.18 ^c	10.60±0.17 ^{bc}	11.40±0.65 ^{ab}	11.80±0.23 ^{ab}	11.60±0.66 ^{ab}	12.13±0.41 ^a
胆固醇/(mmol·L ⁻¹)CHO	3.10±0.06 ^a	3.04±0.05 ^a	3.03±0.02 ^a	2.93±0.08 ^{ab}	2.82±0.07 ^b	2.77±0.06 ^b
甘油三酯/(mmol·L ⁻¹)TG	3.03±0.07 ^a	2.85±0.15 ^{ab}	2.76±0.17 ^{ab}	2.59±0.14 ^{bc}	2.28±0.12 ^c	2.19±0.03 ^c
碱性磷酸酶/(U·L ⁻¹)ALP	51.93±3.68	52.87±6.51	53.93±1.99	58.30±3.61	60.60±0.96	62.17±1.51

注: 同一行数据上标不同上标字母表示差异显著($P<0.05$).
Note: Values with different superscripts in the same row are significantly different ($P<0.05$).

3 讨论

蛋白质在动物生长过程中发挥着非常重要的作用, 是构成动物机体的主要成分。随着养殖业的不断发展, 鱼粉、豆粕等优质蛋白源的需求逐年加大、价格不断攀升, 成为制约水产养殖业持续发展的瓶颈。因此, 发掘新型质优价廉的蛋白源来替代鱼粉或豆粕的研究逐渐成为国内外水产动物营养学家研究的热点^[11]。而水产动物对饲料中动植物蛋白源的利用能力与多种因素有关, 如: 养殖种类、环境、规格等, 一般认为肉食性鱼类对植物蛋白的利用率低于草食和杂食性鱼类, 养殖幼鱼对动物蛋白的依赖性要远高于成鱼^[11-12]。

中国是啤酒生产大国, 啤酒产量一直位居世界前列。而啤酒糟是啤酒工业的主要副产物, 资源丰富、价格低廉, 但因其营养不均衡, 在养殖业上的应用受到极大的限制。研究发现, 微生物发酵技术能够改善原料的营养结构, 提高营养价值^[4-5]。研究指出, 豆粕经乳酸菌发酵后棉籽糖和胰蛋白酶抑制因子的含量得到降低, 同时提高其在大西洋鲑(*Salmo salar*)饲料中的应用水平^[13]。在浮萍^[14]和草豌豆^[15]中的研究发现, 微生物发酵可显著降低二者中纤维、单宁、植酸等的含量, 提高其在

露斯塔野鲮(*Labeo rohita* Ham.)饲料中的使用量(由 10%提升到 30%)。本试验室前期对啤酒糟发酵处理的结果也表明, 微生物发酵技术可提高原料蛋白、氨基酸、脂肪及矿物元素的含量, 降低纤维、非淀粉多糖及部分抗营养因子的含量, 从而改善啤酒糟的营养结构, 提高饲用价值(数据未出版)。

评价新的蛋白源是否可作为优质蛋白源的替代物用于水产配合饲料中时, 通常选用增重率和饲料效率作为养殖效果的评定指标^[16]。在本试验中, 通过折线模型分析得知, 当发酵啤酒糟的替代比例为 54.1%~55.4%, 奥尼罗非鱼的生长效果最佳。这与李彩俊^[17]研究结果不一致, 可能是因为啤酒糟的加工处理方法、饲料营养水平以及试验鱼规格不同造成的。本试验中, 当替代比例达到 60%时, 试验鱼的生长性能并未受到显著影响, 可能是由于啤酒糟经发酵处理后, 营养结构得到改善, 利用动物消化吸收, 同时还含有某些有益成分, 促进机体对营养成分的利用率, 在其他养殖鱼类上也有相似的结果报道^[14-15, 18], 但当替代比例达到 80%时, 罗非鱼的各项生长指标均显著降低, 这可能是因为较高水平的纤维、非淀粉多糖含量可破坏机体组织的完整性, 导致代谢吸收

障碍,从而影响养殖动物的生长。已有研究表明,饲料中纤维多糖和抗营养因子可破坏肠道黏膜的完整性和再生能力,对动物肠道的正常代谢机制带来不利影响^[19-20]。

用发酵啤酒糟替代豆粕不仅影响奥尼罗非鱼的生长,还对试验鱼体成分有一定的影响。本试验结果显示,随着饲料中发酵啤酒糟含量的升高,奥尼罗非鱼鱼体和肌肉组织脂肪含量呈下降趋势,而组织灰分和水分含量则呈上升趋势,这和其他植物蛋白在鱼类上的研究结果一致。在星斑川鲮(*Platichthys stellatus*)^[21]的研究中发现,随着饲料中紫花苜蓿浓缩叶蛋白替代鱼粉比例的增加,试验鱼水分含量逐渐上升,而脂肪含量则逐渐下降。在大豆分离蛋白替代鱼粉的研究中发现,随着饲料大豆分离蛋白用量的增加,哲罗鱼(*Hucho taimen*)水分和灰分含量显著升高,蛋白和脂肪含量显著降低^[22]。Wang等^[23]在豆粕替代鱼粉的研究中指出,鲢状黄姑鱼(*Nibea miichthioides*)鱼体水分和灰分含量随替代比例的增加呈现上升趋势,而脂肪含量则表现为下降趋势。饲料植物蛋白影响养殖鱼体成分的原因可能是由于植物蛋白含有较多的非淀粉多糖和抗营养因子,降低机体对蛋白和脂肪的利用率,最终造成体内沉积减少^[19, 24]。同时,随着饲料中发酵啤酒糟含量的升高,奥尼罗非鱼的脏体比和肝体比呈下降趋势,这与马晶晶等^[21]和段培昌等^[24]在星斑川鲮的研究结果一致,与王海英等^[25]在大菱鲆(*Psetta maxima*)和黄云等^[26]在青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)中的研究结果相反,其具体原因需进一步研究分析。

血清生化指标通常用来衡量鱼类营养物质代谢及器官病变的状况。谷草转氨酶和谷丙转氨酶是机体重要的氨基酸转移酶,可作为评价鱼类肝脏损伤程度的主要指标^[27]。在本试验中,当饲料发酵啤酒糟替代比例超过40%时,奥尼罗非鱼血清谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性出现显著性升高,相似的研究结果在星斑川鲮^[21]和齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)^[28]上均有报道。说明饲料中较高用量的发酵啤酒糟将对奥尼罗非鱼肝胰腺组织造成损伤,影响肝功能的正常运转,具体原

因有待进一步研究。血液中甘油三酯和胆固醇不仅维护机体脂肪水平的动态平衡,而且为机体皮质类激素、性激素等激素的合成提供前体物质,对机体脂质代谢有着重要的作用^[29]。本试验中发现,随着发酵啤酒糟替代比例的增加,血清甘油三酯和胆固醇含量逐渐降低,当替代比例超过60%时,其含量显著低于对照组,表明罗非鱼机体物质能量周转代谢受到饲料发酵啤酒糟水平的影响。其原因可能是因为:饲料纤维水平随着发酵啤酒糟比例的增加而不断增加,影响机体对饲料营养物质的摄取,从而促进机体胆汁酸的排出,降低血清胆固醇和甘油三酯的含量。为满足动物正常生长的能量需求,机体储存能量分解供能,这也从另一方面对试验鱼生长性能下降和组织脂肪沉积量降低做出解释^[30-31],相似的研究结果在星斑川鲮^[20]和虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[32]上均有报道。

4 结论

在本试验条件下,随着饲料中发酵啤酒糟替代豆粕比例的增加,奥尼罗非鱼的生长性能和饲料利用率逐渐降低,当替代比例超过60%时,罗非鱼的生长性能、饲料利用率均显著降低。以增重率和饲料效率为评价指标,经折线模型分析得知,奥尼罗非鱼饲料中发酵啤酒糟替代豆粕的适宜水平为54.1%~55.4%。综合啤酒糟和发酵啤酒糟替代豆粕在奥尼罗非鱼上的研究发现,发酵后啤酒糟的饲用价值得到提高,对试验鱼的生长影响最小,所以建议采用发酵等生物技术手段对啤酒糟进行后再用来作为水产动物的蛋白原料。

参考文献:

- [1] Storebakken T, Refstie S, Ruyter B. Soy products as fat and protein sources in fish feeds for intensive aquaculture [J]. *Soy Anim Nutr*, 2000: 127-170.
- [2] Aliyu S, Bala M. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications[J]. *Afr J Biotechnol*, 2013, 10(3): 324-331.
- [3] Li X X, Qiu B C, Liu B W, et al. Brewer's dried grain as a substitute for soybean meal in formulated diets for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(2): 406-416. [李小霞, 邱

- 彬崇, 柳碧薇, 等. 干啤酒糟替代饲料中豆粕对奥尼罗非鱼生长与生化指标的影响[J]. 中国水产科学, 2016, 23(2): 406–416.]
- [4] Qiu Y L. Research advance and prospect of comprehensive use of brewer's spent grain by biotechnology [J]. Food and Fermentation Industries, 2002, 28(1): 72–73. [邱雁临. 生物技术在啤酒糟综合利用中的研究进展与前景[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(1): 72–73.]
- [5] Egounlety M, Aworh O C. Effect of soaking, dehulling, cooking and fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the oligosaccharides, trypsin inhibitor, phytic acid and tannins of soybean (*Glycine max* Merr.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and groundbean (*Macrotyloma geocarpa* Harms)[J]. J Food Eng, 2003, 56(2): 249–254.
- [6] Cai J, Qiu Y L. On feeding of growing finishing pigs with fermented brewer's grain instead of soybean meal[J]. Cereal and Feed Industry, 2005(10): 32–33. [蔡俊, 邱雁临. 发酵啤酒糟含酶蛋白饲料取代豆粕饲喂生长育肥猪的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2005(10): 32–33.]
- [7] Sun D F, Wang Y W, Wang C, et al. Evaluation of fermented brewer's grains nutritional value and the effect of growth performance of broilers in diets[J]. Feed Industry, 2009, 30(17): 26–28. [孙丹凤, 王友炜, 王聪, 等. 发酵啤酒糟营养价值评定及对肉鸡生长性能的影响[J]. 饲料工业, 2009, 30(17): 26–28.]
- [8] NRC (National Research Council). Nutrient requirements of Fish and Shrimp[M]. Washington D C: National Academy Press, 2011.
- [9] AOAC. Official Methods of Analysis, 15th edn[R]. Association of Official Analytical Chemists, 1990, Arlington, VA.
- [10] Robbins K R, Norton H W, Baker D H. Estimation of nutrient requirements from growth data[J]. J Nutr, 1979, 109(10): 1710–1714.
- [11] Ai Q H, Xie X J. Advances in utilization of plant proteins by aquatic animals[J]. Journal of Ocean University of China, 2005, 35(6): 929–935. [艾庆辉, 谢小军. 水生动物对植物蛋白源利用的研究进展[J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35(6): 929–935.]
- [12] Sala E, Ballesteros E. Partitioning of space and food resources by three fish of the genus *Diplodus* (*Sparidae*) in a Mediterranean rocky infralittoral ecosystem[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1997, 152(1): 273–283.
- [13] Refstie S, Sahlström 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(1–4): 331–345.
- [14] Bairagi A, Ghosh K S, Sen S K, et al. Duckweed (*Lemna polyrrhiza*) leaf meal as a source of feedstuff in formulated diets for rohu (*Labeo rohita* Ham.) fingerlings after fermentation with a fish intestinal bacterium[J]. Bioresource Technol, 2002, 85(1): 17–24.
- [15] Ramachandran S, Bairagi A, Ray A K. Improvement of nutritive value of grass pea (*Lathyrus sativus*) seed meal in the formulated diets for rohu, *Labeo rohita* (Hamilton) fingerlings after fermentation with a fish gut bacterium[J]. Bioresource Technol, 2005, 96(13): 1465–1472.
- [16] Qian X Q, Cui Y B, Xie S Q, et al. A review on dietary protein requirement for aquaculture fishes[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2002, 26(4): 410–416. [钱雪桥, 崔奕波, 解绥启, 等. 养殖鱼类饲料蛋白需要量的研究进展[J]. 水生生物学报, 2002, 26(4): 410–416.]
- [17] Li C J. The application of cheap biological protein sources in tilapia[J]. Freshwater Fisheries, 1995, 25(4): 22–24. [李彩俊. 廉价生物蛋白源在罗非鱼配合饲料中的应用试验[J]. 淡水渔业, 1995, 25(4): 22–24.]
- [18] Luo Z, Liu Y J, Mai K S, et al. Partial replacement of fish meal by soybean protein in diets for grouper *Epinephelus coioides* juveniles[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(2): 175–181. [罗智, 刘永坚, 麦康森, 等. 石斑鱼配合饲料中发酵豆粕和豆粕部分替代白鱼粉的研究[J]. 水产学报, 2004, 28(2): 175–181.]
- [19] Meng F Y, Robinette H R, Young C. Effects of yeast culture on growth performance of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) with high fiber diets in pond farming[J]. Feed and Husbandry, 2013(9): 5–7. [孟繁伊, Robinette H R, Young C. 酵母培养物对饲喂高纤维饲料池塘养殖鲶鱼生产性能的影响[J]. 饲料与畜牧, 2013(9): 5–7.]
- [20] Øverland M, Sørensen M, Storebakken T, et al. Pea protein concentrate substituting fish meal or soybean meal in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*)—effect on growth performance, nutrient digestibility, carcass composition, gut health, and physical feed quality[J]. Aquaculture, 2009, 288(3–4): 305–311.
- [21] Ma J J, Zhang L M, Wang J Y. Effects of replacement of fish meal by alfalfa protein concentrate on growth performance, body composition and blood biochemistry in juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(2): 246–255. [马晶晶, 张利民, 王际英. 紫花苜蓿浓缩叶蛋白替代鱼粉对星斑川鲈幼鱼生长、体组成及血液生化指标的影响[J]. 中国水产科学, 2012, 19(2): 246–255.]
- [22] Xu Q Y, Wang C A, Xu H, et al. Effects of replacement fish meal with soy protein isolated on the growth performance, body composition and biochemical indexes of juvenile *Hu-*

- cho taimen[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2008, 32(6): 941–946. [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.]
- [23] Wang Y, Kong L, Li C, et al. Effect of replacing fish meal with soybean meal on growth, feed utilization and carcass composition of cuneate drum (*Nibea miichthioides*)[J]. Aquaculture, 2006, 261(4): 1307–1313.
- [24] Duan P C, Zhang L M, Wang J Y, et al. The preliminary study on the effects of new protein sources replacing dietary fish meal on growth performance, body composition and hematology of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(5): 797–804. [段培昌, 张利民, 王际英, 等. 新型蛋白源替代鱼粉对星斑川鲈幼鱼生长、体成分和血液学指标的影响[J]. 水产学报, 2009, 33(5): 797–804.]
- [25] Wang H Y, Sun M, Xue C H, et al. The feasibility of partial or total replacement of fish meal by soybean meal in diet for turbot (*Scophthalmus maximus* L.)[J]. Marine Sciences, 2008, 32(6): 9–12. [王海英, 孙谡, 薛长湖, 等. 大菱鲆配合饲料中植物蛋白替代鱼粉的可行性研究[J]. 海洋科学, 2008, 32(6): 9–12.]
- [26] Huang Y, Hu Y, Xiao T Y, et al. Influence of dietary canola meal levels on growth and biochemical indices in juvenile *Mylopharyngodon piceus* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(1): 41–48. [黄云, 胡毅, 肖调义, 等. 双低菜粕替代豆粕对青鱼幼鱼生长及生理生化指标的影响[J]. 水生生物学报, 2012, 36(1): 41–48.]
- [27] Wang Y, Chien Y, Pan C. Effects of dietary supplementation of carotenoids on survival, growth, pigmentation, and antioxidant capacity of characins, *Hyphessobrycon callistus*[J]. Aquaculture, 2006, 261(2): 641–648.
- [28] Xiang X, Zhou X H, Chen J, et al. Effect of dietary replacement of fish meal protein with soybean meal protein, body composition and hematology indices of *Schizothorax prenanti*[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(5): 723–731. [向泉, 周兴华, 陈建, 等. 饲料中豆粕蛋白替代鱼粉蛋白对齐口裂腹鱼幼鱼生长性能、体成分及血液生化指标的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(5): 723–731.]
- [29] Zhou S W. Animal Biochemistry, 3th edn [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999. [周顺伍. 动物生物化学: 第3版[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.]
- [30] Yang D R. The metabolism of protein, dietary fiber and cholesterol[J]. Foreign Medical Sciences (Section of Hygiene), 1998, 25(2): 23–25. [杨东仁. 蛋白质、膳食纤维与胆固醇代谢[J]. 国外医学(卫生学分册), 1998, 25(2): 23–25.]
- [31] Yuan D D. Effects of alfalfa saponins on rat cholesterol metabolism and its regulation mechanism[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2013. [袁德地. 苜蓿皂苷对大鼠胆固醇代谢的影响及其调控机理[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013.]
- [32] Kaushik S J, Cravedi J P, Lalles J P, et al. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*[J]. Aquaculture, 1995, 133(3–4): 257–274.

Fermented brewer's grain as a substitute for soybean meal in formulated diets for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*)

LI Xiaoxia, QIU Binchong, LIU Biwei, GAN Lian, PAN Qing

College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

Abstract: This feeding trial was conducted to evaluate the effects of replacing soybean meal with fermented brewer's grain levels on the growth performance, body composition and serum biochemical indices of juvenile hybrid tilapias (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*). Five hundred and forty juveniles with an initial weight of (3.00±0.08) g were randomly divided into six groups, with three replicates of 30 fish. Six isonitrogenous and isoenergetic experimental diets were formulated to contain different levels of fermented brewers' grains to replace soybean meal at 0, 20%, 40%, 60%, 80% and 100%, respectively. The experiment was performed for 60 days in an indoor recirculating culture system. The results showed that there were no significant differences in weight gain, specific growth ratio, feed efficiency and protein efficiency ratio when the replacement level was 0–60% ($P>0.05$). When the replacement level was more than 60%, the growth performance of the fish was significantly lower compared with the control group ($P<0.05$). Based on weight gain and feed efficiency by quadratic regression analysis, the best replacement ratios of soybean meal with fermented brewer's grain were 54.1% and 55.4%, respectively. The crude lipid contents in the whole body and muscle decreased as the replacement level increased, while the moisture and ash contents showed the opposite trend ($P>0.05$). Meanwhile, the viscerosomatic index (VSI) and hepatosomatic index decreased with increasing dietary fermented brewer's grain level ($P>0.05$). When the replacement level was 100%, the VSI was significantly lower than in the control group ($P<0.05$). The activities of aspartate aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT) and the glucose content significantly increased as the replacement level increased; when the replacement level was more than 40%, serum ALT and AST activities were significantly higher than in the control group ($P<0.05$). When the replacement level was more than 20%, the glucose content was significantly higher than in the control group ($P<0.05$). In addition, the triglyceride and cholesterol contents were reduced with increasing dietary replacement level; when the replacement level was more than 60%, serum cholesterol levels were significantly lower than in the control group ($P<0.05$). Meanwhile, when the replacement level was more than 40%, serum triglyceride levels were significantly lower than in the control group ($P<0.05$). Based on the results of growth performance, body composition and serum biochemical indices, the optimal replacement level was 54.1%–55.4% for juvenile hybrid tilapias.

Key words: *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*; fermented brewer's grain; growth performance; body composition; serum biochemical indices

Corresponding author: PAN Qing. E-mail: qpan@scau.edu.cn