

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15302

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

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: 以干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, 研究干啤酒糟对奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)生长性能、体组成、血清生化指标和抗氧化能力的影响。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: 当干啤酒糟替代豆粕的比例在 0~40%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($P>0.05$), 且显著高于 60%、80%和 100%替代组($P<0.05$)。以增重率和饲料效率为依据, 通过折线模型分析得到, 奥尼罗非鱼幼鱼饲料中干啤酒糟替代豆粕的最适比例分别为 27.0%和 28.9%。试验鱼全鱼和肌肉组织蛋白和脂肪含量随着饲料干啤酒糟替代比例的增加而逐渐下降, 当替代比例为 100%时, 试验鱼体蛋白和体脂肪含量显著低于对照组($P<0.05$)。试验鱼脏体比随着替代比例的增加而升高, 而肥满度则显著降低($P<0.05$)。随着干啤酒糟替代豆粕比例的增加, 试验鱼血清谷丙转氨酶的活性逐渐升高, 当替代比例超过 60%时, 显著高于对照组($P<0.05$); 血清谷草转氨酶则随替代比例的增加而显著升高($P<0.05$), 而血糖含量则呈相反的趋势, 当替代比例超过 40%时, 显著低于对照组($P<0.05$)。试验鱼血清总抗氧化能力随着替代比例的增加而逐渐降低, 当替代比例超过 20%时, 显著低于对照组($P<0.05$); 血清超氧化物歧化酶则随替代比例的增加而显著降低($P<0.05$)。综合分析, 奥尼罗非鱼饲料中干啤酒糟替代豆粕的最适比例为 27.0%~28.9%。

关键词: 奥尼罗非鱼; 干啤酒糟; 生长性能; 体成分; 生化指标; 抗氧化能力

中图分类号: S963.71

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)02-0406-11

罗非鱼(tilapia)原产于非洲, 是国际上养殖最广泛的杂食性鱼类。中国于 1956 年首次从越南引种, 通过不断的遗传改良选育, 目前已成为中国水产养殖业中的优势品种, 其养殖产量和出口额均居世界第一^[1]。奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)是奥利亚罗非鱼为父本, 尼罗罗非鱼为母本进行杂交获得的杂种后代, 不仅生长速度快(个体增重比母本高 10%~20%, 比父本高 20%~70%)、抗逆性强, 而且具有高雄性率。一般生产上, 奥尼罗非鱼的雄性率可达 80%~90%, 具有明显的杂种优势, 已成为主要的罗非鱼养殖品种^[1]。

蛋白质是鱼类生长发育的物质基础, 它不仅为鱼类提供用于合成蛋白质的氨基酸, 而且是体内代谢活性物质的主要成分^[2]。豆粕因蛋白质含量高、氨基酸组成相对平衡及抗营养因子少等优点, 是行业内最为认可的优质植物蛋白源^[3]。近年来, 随着水产养殖规模的迅速发展, 饲料需求逐年增加, 豆粕价格持续上涨, 养殖成本不断提高, 使豆粕在中低档鱼料中的性价比日益降低。因此, 寻找价格低廉、来源丰富的蛋白源对水产养殖的可持续发展具有重要的意义。

干啤酒糟(brewer's dried grain)是啤酒工业的主要副产品, 主要由麦芽的皮壳、叶芽、不溶性

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, 主要从事水产动物营养与饲料科学研究. E-mail: xiaoxianey@163.com

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

蛋白质、半纤维素、脂肪、灰分及少量未分解的淀粉和未浸出的可溶性浸出物组成^[4]。研究发现,干啤酒糟不仅蛋白、氨基酸含量丰富,还富含磷、钾等无机元素以及核糖核酸、嘌呤等微量有益成分,具有较高的饲用和开发价值,备受广大畜牧养殖企业和饲料企业的青睐^[5-6],但其在水产动物中应用少有报道^[7-9]。中国是世界上啤酒生产量最大的国家,干啤酒糟资源非常丰富,价格低廉。开发利用干啤酒糟资源,不仅是解决中国蛋白质饲料资源紧张的有效途径,更是减少废弃资源污染环境的重要手段^[10]。

本试验以奥尼罗非鱼为研究对象,探讨干啤酒糟替代豆粕对罗非鱼生长性能和体成分的影响,并通过血清生化指标的变化,揭示干啤酒糟对奥尼罗非鱼生理机能的影响,以期干啤酒糟在奥

尼罗非鱼及其他水产动物饲料中的推广应用提供理论基础和数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

本试验所用蛋白饲料的营养成分见表 1。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。以干啤酒糟分别替代 0、20%、40%、60%、80%、100%的豆粕,配制成 6 种等氮(蛋白水平为 30.3%)等能(能量水平为 18.0 MJ/kg)的试验饲料,并分别标记 D0(对照组)、D20、D40、D60、D80、D100。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^[11]。

表 1 饲料原料的营养水平及氨基酸含量
Tab. 1 Nutrient levels and amino acid composition of feed ingredients % 干物质 dry matter

项目 items	豆粕 soybean meal	菜粕 rapeseed meal	花生粕 peanut meal	次粉 wheat middling	棉粕 cottonseed meal	鱼粉 fish meal	干啤酒糟 brewer's dried grain
氨基酸组成 amino acid composition							
天冬氨酸 Asp	5.10	2.44	5.91	0.74	3.91	5.32	1.85
苏氨酸 Thr	1.77	1.51	1.28	0.41	1.34	4.68	1.04
丝氨酸 Ser	2.15	1.48	2.30	0.63	1.80	2.48	1.22
谷氨酸 Glu	8.51	6.34	10.30	4.52	9.01	9.02	4.89
甘氨酸 Gly	1.99	1.83	3.24	0.60	1.80	4.32	1.06
丙氨酸 Ala	1.99	1.61	2.07	0.48	1.65	4.25	1.22
缬氨酸 Val	2.29	1.85	2.12	0.68	1.95	3.51	1.27
蛋氨酸 Met	0.29	0.23	0.28	0.16	0.35	2.56	0.54
异亮氨酸 Ile	2.13	1.38	1.75	0.50	1.32	3.06	0.94
亮氨酸 Leu	3.49	2.46	3.34	0.96	2.46	5.00	1.86
酪氨酸 Tyr	1.26	0.76	1.49	0.24	0.96	2.31	0.88
苯丙氨酸 Phe	2.24	1.38	2.50	0.66	2.31	2.66	1.25
组氨酸 His	0.97	0.78	0.95	0.34	0.98	1.56	0.48
赖氨酸 Lys	2.83	2.05	1.87	0.44	1.85	5.11	0.77
精氨酸 Arg	3.14	2.01	5.80	0.66	5.01	3.68	1.46
脯氨酸 Pro	2.25	2.13	2.05	1.41	1.51	3.32	1.89
营养水平 nutrient levels							
粗蛋白 protein	46.30	35.99	53.83	15.60	53.77	67.23	24.90
粗脂肪 lipid	1.49	2.34	0.72	1.84	0.80	7.87	3.10
粗灰分 ash	6.33	6.99	5.51	2.64	7.81	12.30	5.32
总磷 phosphorous	0.65	1.02	0.82	0.39	1.29	2.03	0.38

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。试验饲料组成及营养成分见表 2。

表 2 试验饲料组成及营养水平
Tab. 2 Composition and nutrient levels of the experimental diets

饲料 ingredient	组别 group					
	D0	D20	D40	D60	D80	D100
豆粕 soybean meal	20.00	16.00	12.00	8.00	4.00	0.00
干啤酒糟 ¹⁾ brewer's dried grain ¹⁾	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00
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	30.00	24.00	18.00	12.00	6.00
玉米油 corn oil	4.30	4.10	3.90	3.70	3.50	3.30
VC 磷酸酯 VC phosphonate 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	0.22	0.32	0.42	0.52	0.62
包膜蛋氨酸 ²⁾ coated methionine (50%) ²⁾	0.80	0.70	0.62	0.52	0.50	0.40
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 choline chloride (50%)	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	0.76	0.94	1.12	1.32	1.44	1.64
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	30.58	30.53	30.35	30.22	30.41	30.34
粗脂肪 crude lipid	5.68	5.53	5.61	5.58	5.61	5.51
粗灰分 crude ash	6.87	7.22	7.56	7.69	7.81	8.33
总磷 total phosphorous	0.97	0.91	0.86	0.85	0.82	0.80
总能/(MJ·kg ⁻¹) GE	18.10	18.06	17.99	17.98	18.10	18.10
苏氨酸 Thr	1.21	1.24	1.26	1.28	1.30	1.32
缬氨酸 Val	1.55	1.56	1.56	1.57	1.58	1.59
蛋氨酸 Met	0.71	0.71	0.71	0.7	0.73	0.72
异亮氨酸 Ile	1.27	1.26	1.25	1.24	1.22	1.21
亮氨酸 Leu	2.23	2.24	2.25	2.26	2.27	2.28
苯丙氨酸 Phe	1.51	1.50	1.48	1.47	1.45	1.44
组氨酸 His	0.70	0.68	0.66	0.63	0.61	0.59
赖氨酸 Lys	1.69	1.69	1.69	1.68	1.67	1.67
精氨酸 Arg	2.45	2.38	2.31	2.23	2.16	2.08

注: 1) 干啤酒糟由广州珠江啤酒有限公司提供。干啤酒糟粗蛋白为 24.9%, 粗脂肪为 3.1%; 2) 包膜赖氨酸和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) 维生素预混料配方为(g/kg 预混料, 生产单位同前): VA, 3200000IU; VD, 1600000IU; 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, 0.25; 碘, 0.032; 硒, 0.05; 5) 实测值。

Note: 1) Crude protein: 24.9%; crude lipid: 3.1%, Guangzhou Zhujiang Brewery Group 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): vitamin A, 3200000 IU; VD, 1600000 IU; vitamin E, 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.

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 个养殖桶中(水体容积约 350 L), 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、水温和死亡鱼的体重。养殖期间不断充氧, 水温为 (26.6 ± 1.2) °C, 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整体称重、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 °C 冰箱中保存备用, 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 5400 r/min 于 4 °C 下离心 15 min, 取上清液分装, -80 °C 冰箱保存待测。随后将鱼解剖分离出内脏、肝胰腺和腹腔脂肪, 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^[12]的方法。其中, 水分的测定为 105 °C 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 °C 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)和谷草转氨酶(AST)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)。血清总抗氧化

能力(T-AOC)和超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定参照南京建成生物工程研究所试剂盒说明书。T-AOC 活性单位定义为在本反应体系中血清吸光度(OD)值每分钟每增加 0.01 时为 1 个活性单位。SOD 活性单位定义为在本反应体系中 SOD 抑制率达 50%时所反应的酶量为 1 个 SOD 活性单位(U)。相关生长指标计算公式如下:

$$\text{增重率}(\text{weight gain, WG, \%}) = 100 \times (W_t - W_0) / W_0;$$

$$\text{特定生长率}(\text{specific growth rate, SGR, \%} \cdot \text{d}^{-1}) = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t;$$

$$\text{饲料效率}(\text{feed efficiency, FE, \%}) = 100 \times (W_t - W_0) / \text{FI};$$

$$\text{蛋白质效率}(\text{protein efficiency ratio, PER, \%}) = (W_t - W_0) / (\text{FI} \times P);$$

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

$$\text{脏体比}(\text{viscerosomatic index, VSI, \%}) = 100 \times W_v / W_b;$$

$$\text{肝体比}(\text{hepatosomatic index, VSI, \%}) = 100 \times W_l / W_b;$$

$$\text{脂体比}(\text{intraperitoneal fat index, IPF, \%}) = 100 \times W_f / W_b;$$

$$\text{肥满度}(\text{condition factor, CF, \%}) = 100 \times W_b / L_t^3;$$

式中, W_0 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(%); N_0 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 为每尾鱼肝重(g); W_f 为每尾鱼腹腔脂肪重(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 \pm 标准误($\bar{x} \pm \text{SE}$)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干啤酒糟替代豆粕适宜比例^[13]。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 为适宜的干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 干啤酒糟替代豆粕对奥尼罗非鱼生长和饲料利用率的影响

干啤酒糟替代豆粕对奥尼罗非鱼生长性能的影响见表 3。饲料干啤酒糟使用量对奥尼罗非鱼成活率无显著性影响, 各试验组成活率均在 97% 以上($P>0.05$)。随着饲料干啤酒糟替代豆粕比例的增加, 试验鱼的末体重、WG、SGR、FE 和 PER 显著下降($P<0.05$)。当干啤酒糟替代比例在 0~40%

时, 试验鱼的生长性能组间差异不显著, 且 D0 组试验鱼的生长性能均好于其他试验组($P>0.05$); 当干啤酒糟替代比例超过 40%, 各组试验鱼的末体重、WG、SGR、FE 和 PER 均显著低于其他试验组($P<0.05$); 同时, D80 和 D100 组试验鱼的各项生长性能均显著低于 D60 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, 奥尼罗非鱼饲料中干啤酒糟替代豆粕的最佳比例分别为 27.0% 和 28.9% (图 1)。

表 3 干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 brewer's dried grain on growth performance and feed utilization of hybrid tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*

项目 item	组别 group					
	D0	D20	D40	D60	D80	D100
初体重/g initial body weight	3.01±0.03	3.07±0.04	3.06±0.02	3.07±0.02	3.06±0.05	3.05±0.03
末体重/g final body weight	24.17±0.19 ^a	23.70±0.69 ^a	23.21±0.38 ^a	21.46±0.08 ^b	19.35±0.39 ^c	18.48±0.47 ^c
增重率/% WG	702.75±2.14 ^a	673.07±31.07 ^a	658.44±10.48 ^a	599.59±6.98 ^b	533.25±18.47 ^c	503.19±11.30 ^c
特定生长率/(%·d ⁻¹) SGR	3.47±0.01 ^a	3.41±0.07 ^a	3.38±0.02 ^a	3.24±0.02 ^b	3.08±0.05 ^c	2.99±0.03 ^c
饲料效率/% FE	78.36±0.52 ^a	76.31±2.74 ^a	74.53±1.34 ^a	68.04±0.36 ^b	60.27±1.55 ^c	57.04±1.61 ^c
蛋白质效率/PER	2.60±0.02 ^a	2.51±0.09 ^a	2.46±0.05 ^a	2.23±0.01 ^b	1.98±0.05 ^c	1.88±0.05 ^c
成活率/% SR	97.78±2.22	98.89±1.11	100.00±0.00	100.00±0.00	98.89±1.11	100.00±0.00

$n=3; \bar{x} \pm SE$

注: 同一行数据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 ($P<0.05$).

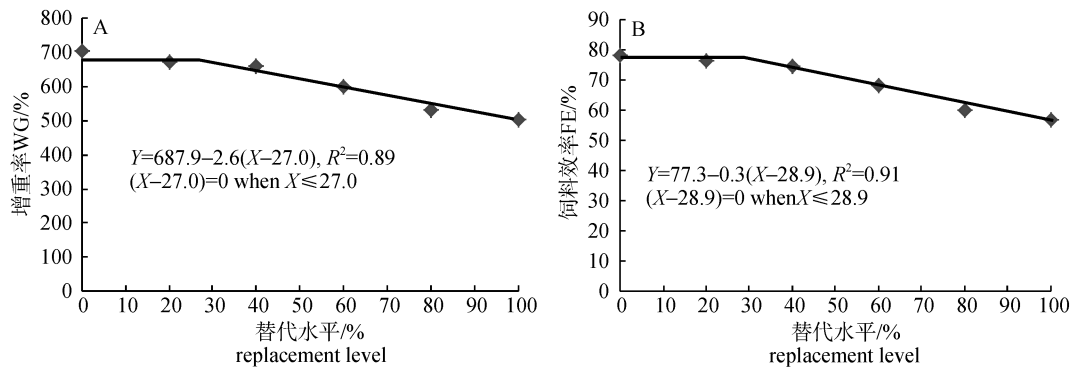


图 1 干啤酒糟替代豆粕水平与增重率(A)、饲料效率(B)间的折线模型分析

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

2.2 干啤酒糟替代豆粕对奥尼罗非鱼体成分和形体指标的影响

干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。全鱼水分含量随着饲料干啤酒糟替代比例的增加而呈上升趋势($P>0.05$); 全鱼组织蛋白和脂肪含量随替代比例

的增加而降低, D100 组试验鱼全鱼组织蛋白和脂肪含量显著低于 D0 组($P<0.05$), 而当替代比例在 0~80% 时, 各组间全鱼蛋白和脂肪含量无显著性差异($P>0.05$); 饲料干啤酒糟使用量显著影响全鱼灰分含量, D80 和 D100 组全鱼灰分含量显著高于 D0 和 D20 组 D60($P<0.05$)。肌肉组织水分和灰

分含量随饲料干啤酒糟使用量的增加而呈上升趋势, 而蛋白含量则呈下降趋势($P>0.05$); 饲料干啤酒糟替代比例显著降低肌肉组织脂肪含量, D100 组肌肉脂肪含量显著低于 D0 和 D20 组($P<0.05$), 但与其他试验组差异不显著($P>0.05$)。随着饲料干啤酒糟替代豆粕比例的增加, 试验鱼

肝体比和脂体比均呈下降趋势($P>0.05$); D0 组脏体比显著低于 D100 组($P<0.05$), 但与其他组无显著性差异($P>0.05$); 随饲料干啤酒糟使用量的增加, 罗非鱼的肥满度指数显著下降($P<0.05$); 除 D40 组外, D0 组试验鱼肥满度显著高于其他试验组($P<0.05$)。

表 4 干啤酒糟替代豆粕对奥尼罗非鱼体成分和形体指标的影响

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

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

项目 item	组别 group						
	D0	D20	D40	D60	D80	D100	
全鱼 whole body	水分 moisture	70.15±0.22	70.21±0.65	70.28±0.53	70.38±0.52	71.53±0.68	71.63±0.80
	粗蛋白 crude protein	15.00±0.09 ^a	14.99±0.05 ^{ab}	14.93±0.05 ^{ab}	14.88±0.07 ^{ab}	14.73±0.09 ^{bc}	14.60±0.10 ^c
	粗脂肪 crude lipid	10.45±0.41 ^a	10.04±0.37 ^{ab}	9.80±0.49 ^{ab}	9.98±0.47 ^{ab}	9.27±0.24 ^{ab}	8.85±0.29 ^b
	灰分 crude ash	9.77±0.23 ^b	9.87±0.49 ^b	10.77±0.37 ^{ab}	10.34±0.54 ^{ab}	11.64±0.27 ^a	11.64±0.37 ^a
肌肉 muscle	水分 moisture	76.89±0.53	77.47±0.25	77.54±0.06	77.56±0.21	77.49±0.23	77.60±0.14
	粗蛋白 crude protein	17.70±0.45	17.27±0.19	17.23±0.10	17.17±0.15	17.14±0.12	17.15±0.14
	粗脂肪 crude lipid	1.70±0.04 ^a	1.62±0.08 ^{ab}	1.51±0.02 ^{bc}	1.55±0.04 ^{bc}	1.51±0.04 ^{bc}	1.42±0.03 ^c
	灰分 crude ash	5.95±0.18	6.14±0.16	6.27±0.28	6.15±0.10	6.37±0.22	6.40±0.04
脏体比 viscerosomatic index, VSI	11.65±0.45 ^b	11.95±0.19 ^{ab}	12.04±0.17 ^{ab}	12.19±0.08 ^{ab}	12.22±0.30 ^{ab}	12.98±0.67 ^a	
肝体比 hepatosomatic index, HSI	2.28±0.16	2.04±0.19	2.08±0.03	1.90±0.22	1.71±0.35	2.10±0.75	
脂体比 intraperitoneal fat index, IPF	2.28±0.10	2.15±0.10	2.09±0.23	2.05±0.20	2.04±0.25	2.04±0.30	
肥满度 condition factor, CF	2.77±0.24 ^a	2.29±0.16 ^b	2.32±0.20 ^{ab}	2.16±0.19 ^b	2.09±0.03 ^b	2.05±0.14 ^b	

注: 同一行数据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 ($P<0.05$).

2.3 干啤酒糟替代豆粕对奥尼罗非鱼血清生化指标及抗氧化能力的影响

干啤酒糟替代豆粕对奥尼罗非鱼血清生化指标及抗氧化能力的影响如表 5 所示。随着饲料干啤酒糟替代比例的增加, 奥尼罗非鱼血清 CHO 和 TG 含量逐渐降低, 但各试验组间无显著性差异($P>0.05$)。血清 ALT 和 AST 活性随着饲料干啤酒糟替代比例的增加而显著升高, 而血清 GLU 含量则显著降低($P<0.05$)。D100 组血清 ALT 和 AST 活性显著高于 D0、D20 和 D40 组($P<0.05$), 但与 D60 和 D80 组差异不显著($P>0.05$)。D0 组血清 AST 活性最低, 显著低于其他试验组($P<0.05$)。D0、D20 和 D40 组血清 GLU 含量显著高于其他试验组($P<0.05$), 但组间差异不显著($P>0.05$)。饲料干啤酒糟替代豆粕比例显著影响试验鱼血清 T-AOC 和 SOD 活性($P<0.05$)。除 D20 组外, D0 组

血清 T-AOC 活性显著高于其他试验组($P<0.05$), 但与 D20 组无显著性差异($P>0.05$)。D0 组血清 SOD 活性最高, 显著高于其他试验组($P<0.05$)。当干啤酒糟替代比例在 20%~60%时, 各试验组血清 T-AOC 和 SOD 活性无显著性差异($P>0.05$), 试验鱼血清 SOD 活性显著高于 D80 和 D100 组($P<0.05$)。

3 讨论

蛋白质是动物生长发育的物质基础, 是构成动物机体的主要成分^[2]。豆粕因具有消化吸收率高、氨基酸组成相对平衡等优点, 广泛用于替代动物饲料中的鱼粉蛋白^[3]。近年来, 随着水产养殖业的迅速发展, 导致豆粕蛋白的需求量逐渐增加、价格激增, 因此, 寻找新的廉价蛋白源替代豆粕将成为必然趋势。目前, 罗非鱼养殖中用于替代豆粕的蛋白源主要有菜粕^[14-15]、棉粕^[16-17]、玉

表 5 干啤酒糟替代豆粕对奥尼罗非鱼血清生化指标及抗氧化能力的影响

Tab. 5 Effects of dietary soybean meal replaced by brewer's dried grain on serum biochemical indices and antioxidant capacity of hybrid tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*n=3; $\bar{x} \pm \text{SE}$

项目 item	组别 group					
	D0	D20	D40	D60	D80	D100
谷丙转氨酶/(U·L ⁻¹)ALT	33.37±1.64 ^c	34.87±0.87 ^c	35.40±1.19 ^{bc}	36.43±2.74 ^{abc}	40.87±1.31 ^{ab}	42.23±2.36 ^a
谷草转氨酶/(U·L ⁻¹)AST	250.83±12.87 ^c	287.53±10.65 ^b	287.83±8.40 ^b	341.00±11.48 ^a	342.13±7.08 ^a	358.23±10.43 ^a
血糖/(mmol·L ⁻¹)GLU	13.03±0.42 ^a	13.17±0.29 ^a	13.17±0.29 ^a	10.93±0.24 ^b	10.50±0.21 ^b	8.73±0.09 ^c
胆固醇/(mmol·L ⁻¹)CHO	2.97±0.08	2.87±0.10	2.77±0.14	2.71±0.09	2.68±0.10	2.68±0.07
甘油三酯/(mmol·L ⁻¹)TG	2.64±0.01	2.61±0.07	2.60±0.05	2.59±0.17	2.46±0.17	2.30±0.14
总抗氧化能力/(U·mL ⁻¹)T-AOC	5.06±0.17 ^a	4.52±0.07 ^{ab}	3.91±0.27 ^{bc}	3.78±0.29 ^{bc}	3.57±0.32 ^c	3.49±0.18 ^c
超氧化物歧化酶/(U·mL ⁻¹)SOD	56.51±0.89 ^a	52.98±0.76 ^b	51.42±1.05 ^b	51.26±0.87 ^b	48.25±0.71 ^c	47.82±0.72 ^c

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

米 DDGS^[18]、动物副产物^[19-20]等。干啤酒糟是啤酒工业的主要副产物, 资源丰富, 价格低廉, 在畜禽养殖业上已得到广泛的应用^[10]。

本试验研究表明, 奥尼罗非鱼的生长性能随着饲料干啤酒糟替代豆粕比例的增加而下降。当干啤酒糟替代比例在 0~40%时, 罗非鱼均表现出较好的生长效果和饲料利用率, 但随干啤酒糟使用量的增加而呈下降趋势, 这与在鲤鱼(*Cyprinus carpio carpio*)^[21-22]上的研究结果相似。鲤鱼无胃, 机体缺乏降解纤维和非淀粉多糖的酶类, 同时这些因子可破坏肠道黏膜的完整性和再生能力, 从而影响动物对营养成分的吸收代谢^[23-24]。当干啤酒糟替代比例超过 40%时, 对罗非鱼的生长和蛋白质效率均产生不利的影响, 这主要可能是因为干啤酒糟纤维和非淀粉多糖含量较高。以增重率和饲料效率为评价指标, 通过折线模型分析得知, 当干啤酒糟替代豆粕的比例为 27.0%~28.9%, 奥尼罗非鱼的生长效果最佳。

通过对体成分分析发现, 干啤酒糟替代豆粕对对奥尼罗非鱼全鱼和肌肉蛋白、脂肪和灰分含量有一定的影响。随着干啤酒糟替代比例的增加, 奥尼罗非鱼全鱼蛋白和脂肪含量逐渐降低; 且当干啤酒糟完全替代豆粕时, 全鱼蛋白和脂肪含量显著低于其他试验组, 这主要是由较低的生长速率和饲料较高的纤维及抗营养因子含量所引起的, 降低饲料营养成分的表观消化率, 机体为保证自

身正常的生理代谢, 动用大量的蛋白和脂肪能量, 这与紫花苜蓿浓缩蛋白在星斑川鲮(*Platichthys stellatus*)^[25]和玉米 DDGS 在奥尼罗非鱼^[18]上的研究结果一致。同时, 随着饲料干啤酒糟含量的升高, 奥尼罗非鱼的脏体比逐渐升高, 而试验鱼肝体比、脂体比和肥满度则逐渐降低, 这也从侧面反映干啤酒糟的利用可减少机体脂肪的沉积量, 从而提高养殖鱼的肉品质。相似的研究结果在星斑川鲮^[25-26]和奥尼罗非鱼^[18]上均有报道。饲料干啤酒糟含量降低试验鱼的肥满度, 其可能的原因是由于干啤酒糟纤维和多糖含量较高, 而鱼类体内缺少或只能少量合成分解纤维等高分子物质的酶类, 阻碍机体对营养物质的利用率, 但其具体影响机制还有待进一步的研究。

在正常情况下, 血清谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性很低, 当组织细胞受损或通透性增加时, 血清转氨酶活性升高, 因此, 血清转氨酶活性高低反映了肝胰脏受损伤的程度^[27]。在本研究中发现, 饲料中添加干啤酒糟导致奥尼罗非鱼血清谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性显著升高, 相似的研究结果在星斑川鲮^[26]和齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)^[28]上均有报道。这一结果表明, 添加干啤酒糟到奥尼罗非鱼饲料中将其肝胰腺组织造成损伤, 影响罗非鱼的正常生长。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, 对机体物质代谢有着重要的作用^[29]。本研究发现, 随着干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, 表明饲料干啤酒糟的添加对机体能量周转代谢造成不利影响。在星斑川鲮^[25]和虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[30]上的研究亦有相似的报道。血液中的糖分称为血糖, 是机体调控物质代谢最为灵敏的一个指标。肝胰脏对血糖稳定具有重要的调节作用, 当肝胰脏受损时, 肝糖原合成及分解受阻, 导致血糖含量降低, 影响机体能量的供给, 不利于机体的生长^[31-32]。本试验中, 随着干啤酒糟替代豆粕比例的增加, 奥尼罗非鱼血清血糖含量显著下降, 相似的结果在异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)^[31]和鲤鱼^[32]的研究中均有报道。分析其原因可能由于干啤酒糟中钙、磷含量较低且不平衡, 纤维和多糖含量较高, 摄食后机体肝胰脏等免疫器官受损, 能量代谢失衡, 从而导致血糖含量的不断下降。

正常代谢下机体氧自由基处于动态平衡, 机体抗氧化能力的水平与健康程度呈正相关^[33]。T-AOC 是衡量机体抗氧化系统功能的综合性指标, 是机体酶促和非酶促抗氧化能力的总和, 其大小可以反映机体对外界刺激的代偿能力和机体自由基代谢的状态。SOD 是机体活性氧自由基的清除剂, 保护细胞免受损伤的重要抗氧化酶之一^[15]。本试验中发现, 随着饲料干啤酒糟替代比例的增加, 血清 T-AOC 和 SOD 活性逐渐降低, 这与林仕梅等^[15]对奥尼罗非鱼及向泉等^[28]对齐口裂腹鱼的研究结果相一致。可能是因为干啤酒糟中纤维素和半纤维素含量较高, 且与其他物质交联形成复杂的化合结构, 同时还被木质素鞘包裹, 成为阻碍干啤酒糟中营养物质的消化、吸收的主要抗营养因子, 进而对养殖动物的机体抗氧化能力造成不良影响^[34]。

4 结论

本研究结果表明, 干啤酒糟可在奥尼罗非鱼幼鱼饲料中少量使用。以增重率和饲料效率为评价指标, 经折线模型分析得知, 奥尼罗非鱼配合饲料中干啤酒糟替代豆粕的最适水平为 27.0%~

28.9%。若想提高干啤酒糟在奥尼罗非鱼饲料中使用量, 可采用二次加工处理手段改善啤酒糟营养结构, 降低对养殖动物组织造成的损伤程度。

参考文献:

- [1] Xiao J, Gan X, Luo Y J. The progress of tilapia breeding[J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2014, 29(1): 106-112. [肖俊, 甘西, 罗永巨. 罗非鱼育种研究进展[J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2014, 29(1): 106-112.]
- [2] Kim K W, Wang X J, Bai S C. Optimum dietary protein level for maximum growth of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel)[J]. Aquac Res, 2002, 33(9): 673-679.
- [3] 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.
- [4] Aliyu S, Bala M. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications[J]. Afr J Biotechnol, 2013, 10(3): 324-331.
- [5] Yang S P, Wang A K, Yang G R, et al. Different proportion of brewer's grains in diets for fattening BMU cattle[J]. Animals Breeding and Feed, 2010(11): 5-10. [杨世平, 王安奎, 杨国荣, 等. 不同啤酒糟比例的全混日粮育肥 BMU 牛试验[J]. 养殖与饲料, 2010(11): 5-10.]
- [6] Dhiman T R, Bingham H R, Radloff H D. Production response of lactating cows fed dried versus wet brewers' grain in diets with similar dry matter content[J]. J Dairy Sci, 2003, 86(9): 2914-2921.
- [7] Kaur V I, Saxena P K. Incorporation of brewery waste in supplementary feed and its impact on growth in some carps [J]. Bioresource Technol, 2004, 91(1): 101-104.
- [8] Cheng Z J, Hardy R W, Huige N J. Apparent digestibility coefficients of nutrients in brewer's and rendered animal by-products for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum))[J]. Aquac Res, 2004, 35(1): 1-9.
- [9] Zerai D B, Fitzsimmons K M, Collier R J, et al. Evaluation of brewer's waste as partial replacement of fish meal protein in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, diets[J]. J World Aquacult Soc, 2008, 39(4): 556-564.
- [10] He X Q. Lees application in animal husbandry[J]. Beijing Agriculture, 2012(18): 92-93. [何雪芹. 酒糟在畜牧业中的应用[J]. 北京农业, 2012(18): 92-93.]
- [11] NRC (National Research Council). Nutrient requirements of Fish and Shrimp[M]. Washington D C: National Academy Press, 2011.
- [12] AOAC. Official Methods of Analysis, 15th edn[C]//Assoc-

- iation of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, 1990.
- [13] Robbins K R, Norton H W, Baker D H. Estimation of nutrient requirements from growth data[J]. *J Nutr*, 1979, 109(10): 1710–1714.
- [14] Plaipetch P, Yakupitiyage A. Effect of replacing soybean meal with yeast-fermented canola meal on growth and nutrient retention of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758)[J]. *Aquac Res*, 2014, 45(11): 1744–1753.
- [15] Lin S M, Mai K S, Tan B P. Effect of soybean meal replacement by rapeseed-cottonseed compound on growth, body composition and immunity of tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2007, 38(2): 168–173. [林仕梅, 麦康森, 谭北平. 菜粕、棉粕替代豆粕对奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)生长、体组成和免疫力的影响[J]. *海洋与湖沼*, 2007, 38(2): 168–173.]
- [16] El-Saidy D M S D, Saad A S. Effects of partial and complete replacement of soybean meal with cottonseed meal on growth, feed utilization and haematological indexes for mono-sex male Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings[J]. *Aquacult Res*, 2011, 42(3): 351–359.
- [17] Yue Y R, Zhou Q C. Effect of replacing soybean meal with cottonseed meal on growth, feed utilization, and hematological indexes for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*[J]. *Aquaculture*, 2008, 284(1–4): 185–189.
- [18] He X Q, Cao J M, Huang Y H, et al. The effects of corn DDGS on growth performance in tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*[J]. *Feed Industry*, 2009, 30(22): 26–29. [何晓庆, 曹俊明, 黄燕华, 等. 玉米 DDGS 替代豆粕对奥尼罗非鱼生长性能的影响[J]. *饲料工业*, 2009, 30(22): 26–29.]
- [19] Zhang Z, Xu L, Liu W S, et al. Effects of partially replacing dietary soybean meal or cottonseed meal with completely hydrolyzed feather meal (defatted rice bran as the carrier) on production, cytokines, adhesive gut bacteria, and disease resistance in hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂)[J]. *Fish Shellfish Immunol*, 2014, 41(2): 517–525.
- [20] Abimorad E G, Castellani D, Goncalves G S, et al. Partial replacement of soybean meal by meat and bone meal in diets for Nile tilapia juveniles[J]. *Pesqui Agropecu Bras*, 2014, 49(11): 836–843.
- [21] Li Z J, Feng G D, Wu C L, et al. The optimal dosage of dried brewer's grains in carp, *Cyprinus carpio carpio*[J]. *Scientific Fish Farming*, 2000(12): 41–42. [李自金, 冯光德, 吴承林, 等. 干啤酒糟在鲤鱼种饲料中的适宜用量[J]. *科学养鱼*, 2000(12): 41–42.]
- [22] Zhang Q, Li J B, Luo H, et al. Effects of beer less on growth and body composition of common carp, *Cyprinus carpio carpio*[J]. *Scientific Fish Farming*, 2009(10): 66–67. [张琼, 李俊波, 罗辉, 等. 啤酒糟对鲤鱼生长性能和体成分的影响[J]. *科学养鱼*, 2009(10): 66–67.]
- [23] Meng F Y, Robinette H R, Young C. Effects of yeast culture on performance of channel catfish (*Ictalurus Punetaus*) fed with high-fiber feed[J]. *Feed and Husbandry*, 2013(9): 5–7. [孟繁伊, Randall R H, 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.]
- [24] 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.
- [25] Ma J J, Zhang L M, Wang J Y. Effects of replacement of fishmeal 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.]
- [26] 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.]
- [27] Wang Y J, Chien Y H, Pan C H. 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] 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.
- [31] Wang F. The effect of high levels of dietary starch on growth, metabolism and body composition for gibel carp (*Carassius auratus gibelio*)[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008. [王芬. 饲料中高淀粉含量对异育银鲫生长、代谢及鱼体成分的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.]
- [32] Hou H L. Security evaluation on dietary soybean meal replacement by cottonseed meal of *Cyprinus carpio*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006. [侯红利. 棉粕替代豆粕对鲤安全性评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.]
- [33] Zhou C, Liu B, Ge X, et al. Effect of dietary carbohydrate on the growth performance, immune response, hepatic antioxidant abilities and heat shock protein 70 expression of Wuchang bream, *Megalobrama amblycephala*[J]. J Appl Ichthyol, 2013, 29(6): 1348-1356.
- [34] Cai G L, Zhang L, Lu J. Study on the preparation of high-quality feedstuffs protein by brewer's spent grain [J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(2): 89-94. [蔡国林, 张麟, 陆健. 利用啤酒糟制备高品质饲料蛋白[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(2): 89-94.]

Brewer's dried grain as a substitute for soybean meal in formulated diets for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. 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 brewer's dried grain levels on the growth performance, body composition, serum biochemical indices and antioxidant capacity 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 brewers' dried grains to replace soybean meal at 0, 20%, 40%, 60%, 80% and 100%, respectively. The experiment was performed for 60 d 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 0–40% ($P>0.05$). The growth performances of the fish were significantly poorer in 60%, 80% and 100% groups ($P<0.05$). Based on weight gain and feed efficiency of broken-line analysis, the best replacement ratios of soybean meal with brewer's dried grain were 27.0% and 28.9%, respectively. The crude protein and lipid contents in the whole body and muscle decreased as the replacement level increased. When the replacement level was 100%, the crude protein and lipid contents in the whole body were significantly lower than those in the control group ($P<0.05$). In addition, the viscerosomatic index (VSI) of the fish decreased with increasing dietary brewer's dried grain level, as did the condition factor ($P<0.05$). The activity of alanine aminotransferase (ALT) significantly increased as the replacement level increased; when the replacement level was more than 60%, serum ALT activities were significantly higher than those in the control group ($P<0.05$). Aspartate aminotransferase activities significantly increased as the replacement level increased ($P<0.05$). The glucose contents were significantly reduced with increasing dietary replacement level ($P<0.05$). The serum total antioxidant capacity (T-AOC) decreased with increasing dietary brewer's dried grain level; when the replacement level was more than 20%, the T-AOC was significantly lower than that in the control group ($P<0.05$). Serum superoxide dismutase activities significantly decreased as the replacement level increased ($P<0.05$). Based on the results of growth, serum biochemical indices and antioxidant capacity, the optimal replacement level was 27.0%–28.9% for juvenile hybrid tilapias.

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

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