

发酵饲料对斑点叉尾鮰生长及生化指标的影响*

陈启亮¹, 段雨池¹, 黄超², 严冰荣¹, 练小龙¹, 陈洁²

(1. 重庆师范大学 生命科学学院 重庆市高校动物生物学重点实验室, 重庆 401331; 2. 巨星农牧有限公司, 成都 611230)

摘要:【目的】评估使用发酵饲料替代部分基础饲料饲喂斑点叉尾鮰(*Ictalurus punctatus*)的效果。【方法】在户外网箱中饲喂初始体质量约 285 g 的斑点叉尾鮰 42 d。在此期间设置 T1, T2 和 T3 共 3 个实验组, 除 T1 组全部用基础饲料饲喂外, T2 和 T3 组所用饲料中基础饲料与发酵饲料的质量比分别为 95:5 和 90:10; 然后分析各组实验鱼的主要生长性能和生化指标。【结果】1) 与 T1 组相比, T2 和 T3 组的终末体质量、体质量增加率、特定生长率和蛋白质效率均有统计学意义上的上升($p < 0.05$)而饵料系数有统计学意义上的下降($p < 0.05$), 且 T3 组的肥满度也有统计学意义上的上升($p < 0.05$)。2) T2 和 T3 组与 T1 组相比, 前两者肌肉粗蛋白质量分数有统计学意义上的上升($p < 0.05$); 3) T2 和 T3 组血清中的谷草转氨酶活性较 T1 组而言有统计学意义上的下降($p < 0.05$); 4) 与 T1 组相比, T3 组肝和头肾中还原型谷胱甘肽含量和超氧化物歧化酶活性有统计学意义上的下降($p < 0.05$); 5) T1, T2 和 T3 组肝的组织学结构无明显差异。【结论】饲喂一定比例的发酵饲料能提高斑点叉尾鮰的生长性能, 改善该鱼种的肌肉营养组成, 并有利于该鱼种肝的健康。

关键词: 发酵饲料; 斑点叉尾鮰; 生长性能; 生化指标

中图分类号: Q175

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2022)05-0040-07

随着集约化水产养殖业的发展, 为提高水产品产量, 人们使用了大量的生长促进物质、抗生素、矿物质等, 这往往引起水环境的恶化^[1]。近些年来, 微生物已被应用于水产养殖中以调节微生态失调、维持微生态平衡。由于微生物中的益生菌可以促进鱼类生长、抑制病原体、改善营养物质消化和增强机体免疫力, 因此利用微生物中的益生菌来开发功能性饲料已成为水产养殖业的新趋势^[1-2]。发酵饲料是经过微生物发酵而制成的饲料, 是在基础饲料中添加微生物, 通过微生物自身的生长代谢, 将饲料中的毒害物质或抗营养因子分解转化为适口性好、营养丰富、无毒害、含高活性益生菌的生物活性饲料^[3-5]。常用的发酵益生菌有乳酸菌(Lactobacillaceae)、酵母菌(*Saccharomyces*)和芽孢杆菌(*Bacillus*), 其中芽孢杆菌已被证明是安全度较高的菌种^[6]。目前, 发酵饲料已在一些水产动物养殖中应用。例如, 在花鲈(*Lateolabrax japonicus*)的养殖过程中, 用发酵豆粕替代鱼粉配制的饲料不仅能提高花鲈生长性能, 还能改善养殖水质, 降低水体中磷和氨氮的含量^[7]。

斑点叉尾鮰(*Ictalurus punctatus*)为鲇形目(Siluriformes)鮰科(Ictaluridae)的一种淡水温水性鱼类, 原产于北美洲, 是当地重要的经济农产品^[8-9]。中国于 20 世纪 80 年代首次引入斑点叉尾鮰。该鱼种具有易饲养、生长速度快、营养价值高等特点, 已成为中国重要的养殖经济鱼类之一^[10-11]。本研究以斑点叉尾鮰为研究对象, 在室外网箱养殖条件下, 评估了发酵饲料对该鱼种的生长性能、肌肉营养组成、血清生化指标、肝脏和头肾抗氧化能力以及肝脏组织结构的影响, 有关结果可为发酵饲料应用于养殖生产及饲料资源开发提供新的参考资料。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

本研究所用基础饲料及发酵饲料均由巨星农牧有限公司提供。基础饲料的具体原料及营养水平见表 1。在基础饲料原料中添加质量分数为 0.4% 的枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*), 经一定的发酵工艺制成发酵饲料。

* 收稿日期: 2021-12-13 修回日期: 2022-03-04 网络出版时间: 2022-09-19 14:01

资助项目: 国家自然科学基金(No. 31901183); 重庆市教育委员会科学技术研究项目(No. KJQN201900512)

第一作者简介: 陈启亮, 男, 副教授, 博士, 研究方向为鱼类营养生理学, E-mail: xncql@126.com; 通信作者: 陈洁, 女, 工程师, E-mail: 33941570@qq.com

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20220916.1811.019.html>

1.2 实验鱼养殖实验

斑点叉尾鲷由巨星农牧有限公司提供,养殖实验在四川省犍为县鱼料实验基地的户外网箱内进行。正式实验开始前,斑点叉尾鲷在网箱内暂养7 d,在此期间投喂基础饲料。上述养殖阶段结束后,选取健康且规格一致(初始体质量约285 g)的斑点叉尾鲷,投放到9个规格均为3 m×3 m×2 m网箱中,每个网箱的实验鱼总质量为43 kg。设置T1,T2,T3等3个实验组,其中:T1组为对照组,全部用基础饲料进行投喂;投喂T2和T3组的饲料中基础饲料与发酵饲料的质量比分别为95:5和90:10。上述发酵饲料替代基础饲料的比例根据产品建议添加量和饲料成本而定。所有饲料的粒径均为3.0 mm。将上述实验饲料随机分配给3个网箱,即每个处理组3个重复,于每日7:00,11:00和18:00投喂实验饲料各1次,日投喂量为实验鱼体质量的3%~5%,观察记录实验鱼摄食及生长情况。养殖实验共进行42 d,在此期间水温为23.4~33.4℃,水体溶解氧质量浓度大于6.0 mg·L⁻¹,水体氨氮质量浓度小于0.1 mg·L⁻¹。

1.3 样品采集与分析测定

养殖实验结束后,所有实验鱼禁食24 h。测量每个网箱中实验鱼的总质量,用以计算末平均体质量(FBM)、体质量增加率(MGR)、特定生长率(SGR)等指标;再从每个网箱随机选取6尾实验鱼,麻醉后分别测量体长、体质量,并在取血后迅速解剖,分离出肝组织,并测量肝质量,用以计算肝体比(HSI)、肥满度(CF)等指标,之后再取它们的头肾组织以及背部肌肉组织。采集到的血液于4℃下以3 500 r·min⁻¹离心15 min,收集上清液于-20℃下保存,用于血清生化指标的测定;肝和头肾组织经液氮速冻后,保存于-80℃用于抗氧化指标的测定;背部肌肉组织于-20℃保存,用于肌肉成分的测定。此外,从每个网箱随机取2尾鱼的肝组织,置于多聚甲醛中固定后用于组织学结构观察。

表1 基础饲料组成及营养水平(干物质基础)

Tab. 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (dry matter basis)

原料及营养水平	质量分数/%	原料及营养水平	质量分数/%		
原料	面粉	11.00	L-苏氨酸硫酸盐	0.05	
	木薯粉	7.00	L-色氨酸硫酸盐	0.02	
	膨化豆粕	35.00	氯化胆碱	0.20	
	大豆油	7.50	原料	乙氧基喹啉	0.02
	菜籽粕	6.08		丙酸	0.03
	鱼粉	16.00		预混料	1.00
	鸡肉粉	6.00		合计	100.00
	葵仁粕	8.00	营养水平	粗蛋白	36.50
	磷酸二氢钙	2.00		粗脂肪	8.68
	羧基蛋氨酸钙	0.10		灰分	9.42

注:预混料包含多种维生素和矿物质,成分保密

1.3.1 生长性能指标计算 本研究中实验鱼有关生长性能指标的具体计算方法参见严冰荣等人^[12]的研究。

1.3.2 肌肉成分测定 实验鱼肌肉的水分质量分数通过将实验鱼在105℃烘箱中烘至恒质量后计算得到;采用全自动凯氏定氮仪(FOSS KT260)测定实验鱼肌肉粗蛋白的质量分数;采用索氏抽提仪测定实验鱼肌肉粗脂肪的质量分数;采用高温灼烧法测定实验鱼肌肉的灰分质量分数。

1.3.3 血清生化指标及抗氧化指标测定 采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定实验鱼血清中谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽转移酶(GST)的活性和还原型谷胱甘肽(GSH)含量,实验具体操作步骤按说明书进行。

1.3.4 组织学分析 取固定后的实验鱼肝组织,于不同体积分数乙醇溶液中进行梯度脱水,经二甲苯透明后,包埋于石蜡中。将包埋材料进行常规切片并使用苏木精-伊红(HE)染色,置于400倍光学显微镜下拍照观察。

1.4 数据统计

实验数据均用“平均值±标准差”表示。使用SPSS 20.0软件进行单因素方差分析和Tukey多重比较对实

验数据的组间差异进行考察;当 $p < 0.05$ 时,有关统计结果具有统计学意义。

2 结果

2.1 对生长性能的影响

表 2 显示:与 T1 组相比,T2 和 T3 组的 FBM、MGR、SGR 和蛋白质效率(PER)均有统计学意义上的上升($p < 0.05$),且 T3 组的 FBM 和 MGR 较 T2 组而言也有统计学意义上的上升($p < 0.05$);T3 组的 CF 与 T1 组相比有统计学意义上的升高($p < 0.05$);T2 和 T3 组的饵料系数(FCR)较 T1 组而言有统计学意义上的下降($p < 0.05$)。此外,各处理组的成活率(SR)和 HSI 均无统计学意义上的差异。

表 2 发酵饲料对斑点叉尾鲴生长性能的影响

Tab. 2 Effect of fermented feed on growth performance of channel catfish

指标	T1 组	T2 组	T3 组
FBM/g	515.39 ± 1.23 ^a	525.84 ± 2.20 ^b	532.46 ± 3.38 ^c
MGR	79.39% ± 0.69% ^a	82.21% ± 0.76% ^b	84.50% ± 1.17% ^c
SGR/d ⁻¹	1.39% ± 0.01% ^a	1.43% ± 0.01% ^b	1.46% ± 0.02% ^b
SR	99.78% ± 0.39% ^a	100.00% ± 0.00% ^a	100.00% ± 0.00% ^a
FCR	1.39 ± 0.01 ^a	1.34 ± 0.02 ^b	1.31 ± 0.02 ^b
HSI	1.55% ± 0.04% ^a	1.51% ± 0.05% ^a	1.49% ± 0.08% ^a
CF/(g · cm ⁻³)	1.77 ± 0.06 ^a	1.85 ± 0.07 ^{ab}	1.88 ± 0.07 ^b
PER	1.67% ± 0.03% ^a	1.75% ± 0.02% ^b	1.80% ± 0.03% ^b

注:上标不同小写字母表示某一指标的组间差异有统计学意义($p < 0.05$),下同

2.2 对肌肉成分的影响

由表 3 可知:T2 和 T3 组肌肉中粗蛋白质量分数较 T1 组而言有统计学意义上的上升($p < 0.05$);T3 组肌肉中灰分质量分数与 T1 组相比有统计学意义上的下降($p < 0.05$);与 T1 组相比,T2 和 T3 组肌肉中水分和粗脂肪质量分数略有下降,但组间差异不具有统计学意义。

表 3 发酵饲料对斑点叉尾鲴肌肉成分的影响

Tab. 3 Effect of fermented feed on muscle composition of channel catfish

指标	T1 组	T2 组	T3 组	指标	T1 组	T2 组	T3 组
水分质量分数	77.66 ± 1.96 ^a	74.74 ± 1.03 ^a	77.58 ± 1.40 ^a	粗脂肪质量分数	16.79 ± 0.21 ^a	16.50 ± 0.16 ^a	16.37 ± 0.30 ^a
粗蛋白质量分数	74.53 ± 0.35 ^a	75.47 ± 0.15 ^b	75.87 ± 0.21 ^b	灰分质量分数	4.51 ± 0.06 ^a	4.39 ± 0.05 ^{ab}	4.35 ± 0.04 ^b

注:除水分质量分数以实验鱼肌肉的鲜质量计外,其余指标均以实验鱼肌肉的干质量计

2.3 对血清生化指标的影响

与 T1 组相比,T2 和 T3 组血清中 ALT 的活性有轻微下降,但组间差异不具有统计学意义;此外 T2 和 T3 组血清中 AST 的活性较 T1 组而言有统计学意义上的下降($p < 0.05$)(表 4)。

表 4 发酵饲料对斑点叉尾鲴血清生化指标的影响

Tab. 4 Effect of fermented feed on serum biochemical indexes of channel catfish

指标	T1 组	T2 组	T3 组
ALT 活性	9.30 ± 2.11 ^a	6.47 ± 0.67 ^a	7.83 ± 1.22 ^a
AST 活性	216.50 ± 20.08 ^a	163.43 ± 9.79 ^b	172.30 ± 4.92 ^b

2.4 对肝和头肾抗氧化指标的影响

由表 5 可知:与 T1 组相比,T2 和 T3 组肝中 GSH 含量和 SOD 活性均有统计学意义上的下降($p < 0.05$);T3 组头肾中 GSH 含量与 T1 组相比有统计学意义上的下降,且 T2 和 T3 组头肾中 SOD 活性与 T1 组相比均有

统计学意义上的下降($p < 0.05$);此外,肝和头肾中 GST 活性的组间差异均无统计学意义。

表5 发酵饲料对斑点叉尾鲴肝和头肾抗氧化指标的影响

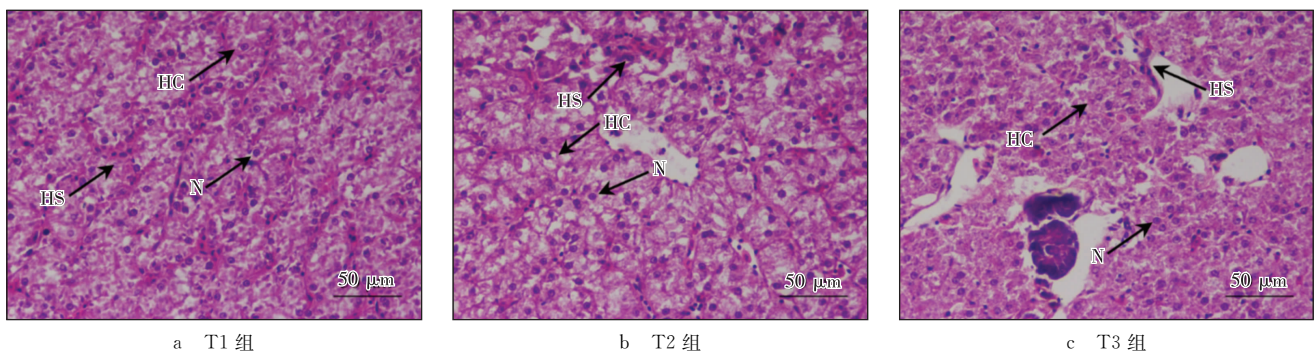
Tab.5 Effect of fermented feed on liver and head kidney antioxidant indexes of channel catfish

指标	肝			头肾		
	T1组	T2组	T3组	T1组	T2组	T3组
GSH 含量/(U·g ⁻¹)	28.74±0.73 ^a	26.81±0.58 ^b	26.77±0.66 ^b	28.70±1.14 ^a	27.78±1.37 ^{ab}	24.67±1.92 ^b
SOD 活性/(U·mg ⁻¹)	169.26±7.87 ^a	144.42±2.78 ^b	147.58±2.56 ^b	57.51±9.05 ^a	49.24±6.44 ^b	50.07±4.57 ^b
GST 活性/(U·mg ⁻¹)	12.13±0.36 ^a	11.64±0.26 ^a	12.33±0.74 ^a	6.65±0.21 ^a	6.99±0.55 ^a	7.09±0.54 ^a

注:表格中指标均以样品蛋白质的质量计

2.5 对肝组织结构的影响

如图1所示,各组实验鱼的肝组织学结构无明显差异:肝细胞呈多边形,排列较规则,细胞核大而圆,肝血窦丰富。



注:N——细胞核;HC——肝细胞;HS——肝血窦

图1 发酵饲料对斑点叉尾鲴肝组织学结构的影响

Fig.1 Effect of fermented feed on hepatic structure of channel catfish

3 讨论

3.1 发酵饲料对斑点叉尾鲴生长和肌肉成分的影响

基础饲料原料经微生物发酵处理后,其中的抗营养因子得到了降解或转化,形成了利于消解有害物质和利于消化吸收的发酵饲料^[13-14]。发酵饲料中的益生菌可增加有益微生物的数量和提高微生物的酶活性来影响动物的消化过程,改善肠道微生物平衡,提高食物的消化吸收率和饲料利用率;同时,益生菌也可改变营养物质和空间的竞争以及微生物代谢,抑制潜在病原体在消化道的定植;此外益生菌还可通过排除饲料中的毒素或刺激宿主免疫来改善营养^[15]。研究表明,在基础饲料中添加芽孢杆菌可以增强草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)的免疫和抗氧化功能,减少养殖过程中的病害发生^[16]。Wang 等人^[17]研究发现,将冻干光合细菌细胞和枯草芽孢杆菌作为益生菌分别添加到鲤(*Cyprinus carpio*)的基础饲料中,可提高鲤的生长性能及消化酶活性。此外,在尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[15]、半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)^[18]及大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)^[19]等鱼类的研究中也发现,添加发酵饲料组的生长性能明显比基础饲料组的更好。本研究结果显示:与 T1 组相比,两个发酵饲料添加组(T2 和 T3 组)的 FBM、MGR、SGR 和 CF 均明显上升且 FCR 明显下降;这表明一定比例的发酵饲料的添加提高了斑点叉尾鲴的生长性能,且随着发酵饲料添加量的升高,发酵饲料促进该鱼种生长的效果越明显。

鱼类肌肉的营养成分与它的生理机能密切相关。蛋白质在生长发育过程中发挥着重要作用,肌肉中蛋白质含量可以反映鱼类的生长状况及肌肉品质的优劣^[20]。本研究中,与 T1 组相比,T2 和 T3 组肌肉中粗蛋白质量分数有明显上升,而粗脂肪质量分数有轻微下降;这表明一定比例的发酵饲料的添加能够改善斑点叉尾鲴的肌肉营养组成,提升肉质品质。此外,与 T1 组相比,T2 和 T3 组 PER 有明显上升。仇明等人^[21]的研究结果显示,

在基础饲料中添加枯草芽孢杆菌能明显提高斑点叉尾鲴肌肉中的粗蛋白含量,这可能是枯草芽孢杆菌改善了肠道微生物的生存环境,促进机体对营养物质的吸收,进而提高了机体对饲料中粗蛋白的利用率。

3.2 发酵饲料对斑点叉尾鲴血清转氨酶活性的影响

AST 和 ALT 是参与氨基酸代谢的一类转氨酶,广泛存在于肝细胞中,是衡量肝功能、反映肝受损情况的重要指标^[20]。正常情况下,血清中 AST 和 ALT 的水平很低,当肝组织病变或肝细胞坏死时,肝细胞内这两种酶被释放入血液,使血清中这两种酶的活性升高。因此,血清中 AST 和 ALT 活性的升高标志着肝可能受损^[22]。在本研究中,与 T1 组相比,T2 和 T3 组血清中 AST 活性有明显下降,且 ALT 活性也有轻微下降;这表明本研究中发酵饲料的添加未损伤斑点叉尾鲴的肝组织。研究发现,饲料中添加枯草芽孢杆菌能降低吉富罗非鱼(*Oreochromis spp.*)、鲤等鱼类血清中转氨酶的活性^[23-24];这可能与发酵饲料中的益生菌可在一定程度上降低肝的解毒负担,进而对肝起到保护作用有关^[23]。

3.3 发酵饲料对斑点叉尾鲴抗氧化指标及组织学的影响

鱼类的肝是一个多功能器官,具有消化吸收、排毒、清除代谢废物、免疫防御等功能^[25];而头肾是鱼类重要的免疫器官,也是产生血细胞的重要场所。在肝和头肾组织中均存在抗氧化防御系统,其中包括 SOD、GST 等在内的抗氧化酶在对抗由毒物引起的氧化应激方面起着至关重要的作用。这些抗氧化酶可以清除过氧化物和超氧化物自由基,以应对后者对机体造成的多种干扰^[26]。有研究发现,益生菌能提供对氧化应激的保护,并降低对机体有害的活性氧代谢物的积累^[27]。在 GST 的作用下,GSH 能与过氧化物和自由基结合,保护机体的器官或组织免受氧化损伤。在本研究中,与 T1 组相比,添加发酵饲料对肝和头肾组织中 GST 的活性无明显影响,但 SOD 活性和 GSH 含量明显下降。Lawal 等人^[28]的研究发现,使用益生菌发酵的饲料能降低非洲鲶鱼(*Clarias gariepinus*)肝中 SOD 活性和 GSH 含量。因此,发酵饲料可能有助于减少体内各类活性氧的产生,减轻鱼体应对氧化应激的压力,使得较低的抗氧化酶活性即能维持体内抗氧化防御系统的稳态。

此外,本研究结果显示,T1,T2 和 T3 组实验鱼的肝组织学结构无明显变化;这表明添加一定比例的发酵饲料不会对斑点叉尾鲴肝组织造成损伤。这一结果也与血清转氨酶活性分析结果相符。研究表明,添加以芽孢杆菌为主的复合细菌发酵的豆粕可以改善虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的肝形态异常^[29];点带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)肝组织的异常病理变化也在饲喂含有枯草芽孢杆菌发酵豆粕的饲料后有所改善^[30]。这些研究均表明,发酵饲料对鱼类的肝组织有一定的保护作用,有利于维持肝健康。

综上所述,本研究表明,饲喂一定比例的发酵饲料能提高斑点叉尾鲴的生长性能,改善该鱼种的肌肉营养组成,并有利于该鱼种的肝健康。

参考文献:

- [1] NAYAK S K. Multifaceted applications of probiotic *Bacillus* species in aquaculture with special reference to *Bacillus subtilis* [J]. *Reviews in Aquaculture*, 2021, 13(2): 862-906.
- [2] DAWOOD M A O, KOSHIO S. Application of fermentation strategy in aquafeed for sustainable aquaculture [J]. *Reviews in Aquaculture*, 2020, 12(2): 987-1002.
- [3] 王胜, 黄健, 刘艳玲. 发酵饲料概述及其在水产养殖中的应用 [J]. *水产养殖*, 2020, 41(6): 56-58.
WANG S, HUANG J, LIU Y L. Overview of fermented feed and its application in aquaculture [J]. *Journal of Aquaculture*, 2020, 41(6): 56-58.
- [4] 于梦楠, 陈玉珂, 张宇柔, 等. 微生物发酵饲料在水产养殖中的应用 [J]. *中国饲料*, 2021(2): 70-73.
YU M N, CHEN Y K, ZHANG Y R, et al. Application of microbial fermented feed in aquaculture [J]. *China Feed*, 2021(2): 70-73.
- [5] 卫爱莲, 李吕木, 李姗, 等. 发酵饲料在养殖业中的研究进展 [J]. *饲料博览*, 2017(5): 8-12.
WEI A L, LI L M, LI S, et al. Research progress of fermented feed in livestock and poultry feeding [J]. *Feed Review*, 2017(5): 8-12.
- [6] 黄凯. 生物发酵饲料现状及在水产养殖上的应用 [J]. *养殖与饲料*, 2021, 20(2): 36-38.
HUANG K. Current situation of bio-fermented feed and its application in aquaculture [J]. *Animals Breeding and Feed*, 2021, 20(2): 36-38.
- [7] 杨艳玲, 陈冰, 彭凯, 等. 发酵豆粕替代鱼粉及添加包膜氨基酸、植酸酶对花鲈幼鱼生长性能及养殖水质的影响 [J]. *饲料工业*, 2019, 40(10): 47-53.

- YANG Y L, CHEN B, PENG K, et al. Evaluation of replacing fish meal by fermented soybean meal, adding coated amino acids and phytase on the growth performance and water quality for *Lateolabrax japonicus* [J]. *Feed Industry*, 2019, 40(10): 47-53.
- [8] MOUSA A A, RAMACHANDRAN R, OZDEMIR O, et al. Dietary trans-cinnamaldehyde improves oxidative stress response of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) following *Edwardsiella ictaluri* infection [J]. *Aquaculture*, 2021, 532: 735985.
- [9] ABASUBONG K P, CHENG H H, LI Z Q, et al. Effects of replacing fish meal with plant proteins at different dietary protein levels on growth and feed intake regulation of juvenile channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *Aquaculture Research*, 2021, 52(10): 4911-4922.
- [10] DESOUKY H E, JIANG G Z, ZHANG D D, et al. Influences of glycyrrhetic acid (GA) dietary supplementation on growth, feed utilization, and expression of lipid metabolism genes in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed a high-fat diet [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2020, 46(2): 653-663.
- [11] 向建国, 周进, 金宏. 斑点叉尾鲴的生物学与生理生化特性研究 [J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2004, 30(4): 355-358.
XIANG J G, ZHOU J, JIN H. A study on the biological and biochemica charaerisics of the *Ictalurs punctatus* [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2004, 30(4): 355-358.
- [12] 严冰荣, 段雨池, 陈洁, 等. 饲料中添加酵母培养物对松浦镜鲤生长及生化指标的影响 [J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2022, 39(3): 59-66.
YAN B R, DUAN Y C, CHEN J, et al. Effects of dietary yeast culture supplementation on growth and biochemical indices of Songpu mirror carp [J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2022, 39(3): 59-66.
- [13] WANG C, SHI C Y, ZHANG Y, et al. Microbiota in fermented feed and swine gut [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2018, 102(7): 2941-2948.
- [14] KIARIE E, BHANDARI S, SCOTT M, et al. Growth performance and gastrointestinal microbial ecology responses of piglets receiving *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products after an oral challenge with *Escherichia coli* (K88) [J]. *Journal of Animal Science*, 2011, 89(4): 1062-1078.
- [15] EL-HAROON E R, GODA A M A S, KABIR CHOWDHURY M A. Effect of dietary probiotic Biogen supplementation as a growth promoter on growth performance and feed utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) [J]. *Aquaculture Research*, 2006, 37(14): 1473-1480.
- [16] 沈文英, 李卫芬, 梁权, 等. 饲料中添加枯草芽孢杆菌对草鱼生长性能、免疫和抗氧化功能的影响 [J]. *动物营养学报*, 2011, 23(5): 881-886.
SHEN W Y, LI W F, LIANG Q, et al. Effects of dietary *Bacillus subtilis* on growth performance, immunity and antioxidant function of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(5): 881-886.
- [17] WANG Y B, XU Z R. Effect of probiotics for common carp (*Cyprinus carpio*) based on growth performance and digestive enzyme activities [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2006, 127(3/4): 283-292.
- [18] WANG Y, WANG Q K, XING K Z, et al. Dietary cinnamaldehyde and *Bacillus subtilis* improve growth performance, digestive enzyme activity, and antioxidant capability and shape intestinal microbiota in tongue sole, *Cynoglossus semilaevis* [J]. *Aquaculture*, 2021, 531: 735798.
- [19] 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.
- [20] 何敏. 维生素 E 对斑点叉尾鲴生长性能、免疫功能及肉质影响的机理研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2009.
HE M. Effects of vitamin E on growth performance, meat quality ang immune responses in Channel Catfish (*Ictalurus punctatus* Rafinesque) [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2009.
- [21] 仇明, 王爱民, 封功能, 等. 枯草芽孢杆菌对斑点叉尾鲴生长性能及肌肉营养成分影响 [J]. *粮食与饲料工业*, 2010(7): 46-49.
CHOU M, WANG A M, FENG G N, et al. Effects of *Bacillus subtilis* on growth performance and muscle nutrients of channel catfish [J]. *Cereal & Feed Industry*, 2010(7): 46-49.
- [22] 蒋广震, 周嫚, 李向飞, 等. 甘草次酸对斑点叉尾鲴免疫应激下血浆抗氧化酶和免疫指标的影响 [J]. *水产学报*, 2016, 40(9): 1368-1375.
JIANG G Z, ZHOU M, LI X F, et al. Effects of glycyrrhetic acid on plasma antioxidant enzymes and immune indexes under immune stress of Channel Catfish [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(9): 1368-1375.
- [23] 程远, 黄凯, 黄秀芸, 等. 饲料中添加枯草芽孢杆菌对吉富罗非鱼幼鱼生长性能、免疫力和抗氧化功能的影响 [J]. *动物营养学报*, 2014, 26(6): 1503-1512.
CHENG Y, HUANG K, HUANG X Y, et al. Effects of dietary *Bacillus subtilis* on growth performance, immunity and anti-

- oxidation function of juvenile genetic improvement of farmed tilapia (GIFT, *Oreochromis niloticus*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(6): 1503-1512.
- [24] 王红涛,冯颖,明美玉,等. 枯草芽孢杆菌和蒲公英提取物对鲤鱼生长性能、血清生化指标、免疫指标及抗氧化功能的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57(2): 234-239.
- WANG H T, FENG Y, MING M Y, et al. Effects of bacillus subtilis and dandelion extracts on growth performance, serum biochemical indexes, immune indexes and antioxidant function in common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2021, 57(2): 234-239.
- [25] 谢冬梅,龚仕玲,李英文,等. 镉诱导斑马鱼肝脏的组织学损伤和氧化应激[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2018, 35(4): 31-36.
- XIE D M, GONG S L, LI Y W, et al. Cadmium induces histological damage and oxidative stress in the liver of zebrafish [J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2018, 35(4): 31-36.
- [26] SAGLAM D, ATLI G, DOGAN Z, et al. Response of the antioxidant system of freshwater fish (*Oreochromis niloticus*) exposed to metals (Cd, Cu) in differing hardness [J]. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2014, 14(1): 43-52.
- [27] SHAHEEN A, EISSA N, ABOU-ELGHEIT E N, et al. Probiotic effect on molecular antioxidant profiles in yellow perch, *Perca flavescens* [J]. Global Journal of Fisheries and Aquaculture Researches, 2014, 1(2): 16-29.
- [28] LAWAL M O, LAWAL A Z, ADEWUMI G A, et al. Growth, nutrient utilization, haematology and biochemical parameters of African catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell, 1822) fed with varying levels of *Bacillus subtilis* [J]. Agrosearch, 2019, 19(1): 13-27.
- [29] YAMAMOTO T, IWASHITA Y, MATSUNARI H, et al. Influence of fermentation conditions for soybean meal in a non-fish meal diet on the growth performance and physiological condition of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture, 2010, 309(1/2/3/4): 173-180.
- [30] 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.

Animal Sciences

Effects of Fermented Feed on Growth and Biochemical Indexes of Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*)

CHEN Qiliang¹, DUAN Yuchi¹, HUANG Chao², YAN Bingrong¹, LIAN Xiaolong¹, CHEN Jie²

(1. College of Life Sciences, Chongqing Key Laboratory of Animal Biology, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;

2. Giantstar Farming & Husbandry Co., Ltd., Chengdu 611230, China)

Abstract: [Purposes] Evaluating the effects of using fermented feed to replace part of the basic feed for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). [Methods] Channel catfish (initial weight 285 g) were fed for 42 d in outdoor cages. During this period, a total of 3 experimental groups (T1, T2 and T3) were set up. Except for the T1 group all fed with the basic feed, the mass ratio of the basic feed to the fermented feed in the feeds of T2 and T3 groups was 95 : 5 and 90 : 10, respectively. The main growth performance and biochemical indexes of each group of experimental fish were analyzed. [Findings] 1) Compared with the T1 group, the T2 and T3 groups had a statistically significant increase ($p < 0.05$) in final body mass, body mass gain ratio, specific growth rate and protein efficiency, and a statistically significant decrease in the feed coefficient ratio ($p < 0.05$), and condition factor (CF) also increased significantly in the T3 group ($p < 0.05$). 2) The contents of protein in the muscle of T2 and T3 groups increased statistically when compared with the T1 group ($p < 0.05$). 3) The aspartate aminotransferase (AST) activity in the serum of T2 and T3 groups was significantly decreased than that of T1 group ($p < 0.05$). 4) Compared with the T1 group, the activities of reduced glutathione (GSH) and superoxide dismutase (SOD) in the liver and head kidney of the T3 group decreased statistically ($p < 0.05$). 5) There was no obvious difference in the histological structure of the liver among T1, T2 and T3 groups. [Conclusions] Feeding a certain proportion of fermented feed could improve the growth performance and muscle nutritional composition of channel catfish, and be beneficial to the liver health of this fish species.

Keywords: fermented feed; channel catfish; growth performance; biochemical indexes