

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*

严冰荣¹, 段雨池¹, 陈洁², 陈启亮¹, 练小龙¹, 黄超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】考察饲料中添加酵母培养物对松浦镜鲤(*Cyprinus carpio* var. *specularis* ‘Songpu’)生长及生化指标的影响。【方法】在基础饲料中分别添加质量分数为0.03%和0.06%的酵母培养物(YC0.03和YC0.06),并以不添加酵母培养物(YC0)为对照,配制3组实验饲料,用以饲喂池塘网箱中初始体质量为345g的松浦镜鲤,持续42d。【结果】1)与YC0组相比,YC0.06组的体质量增长率和特定生长率更高,肝体比和饵料系数更低,差异均具有统计学意义($p < 0.05$)。2)YC0.03和YC0.06组肌肉中蛋白质和脂肪质量分数均比YC0组的这两项指标更高,差异均具有统计学意义($p < 0.05$)。3)与YC0组相比,YC0.03组血清的总抗氧化能力更高,谷丙转氨酶活性更低,差异均具有统计学意义($p < 0.05$)。4)YC0.06组肝组织过氧化氢酶活性与YC0组相比有统计学意义上的升高($p < 0.05$)。5)YC0.03组和YC0.06组较YC0组而言,肝细胞排列更加规则、细胞界限更清晰。【结论】饲料中添加酵母培养物能提高松浦镜鲤的生长性能、改善肌肉品质、提高肝组织抗氧化能力并维持肝组织健康。

关键词:酵母培养物;松浦镜鲤;生长性能;生化指标;组织学

中图分类号:Q175

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2022)03-0059-08

水产养殖业是近些年来增长速度最快的养殖产业之一,人类获得的近一半水产品来自该产业^[1]。随着这一产业的集约化程度不断提高,人们在养殖过程中更加频繁地使用抗生素和化学消毒剂以防止养殖对象患病^[2],由此引发了微生物耐药性、药物残留等问题^[3]。因此,寻求抗生素替代品并在此基础上开发安全饲料添加剂一直是饲料科学研究的热点。

酵母培养物是一种能有效替代抗生素的微生态制剂^[4],由高性能酵母菌和它的生长培养基组成的复杂酵母发酵物,含有蛋白质、脂类、B族维生素等物质,可作为鱼粉的替代蛋白质源^[2]。此外,因酵母培养物含有酵母细胞壁(其中含 β -葡聚糖和甘露寡糖)、小分子肽、核苷酸、寡糖等物质,所以它也可作为一些水生动物的免疫增强剂^[5]。目前,酵母培养物已广泛应用于禽畜类饲料的生产^[6-8]。近些年来,已有一些研究涉及饲料中添加酵母培养物对斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)^[9]、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)^[10]、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)^[11]等鱼类生长和健康的影响。有关研究表明:对水产动物而言,饲料中添加酵母培养物在提高生长性能、改善肠道微生物群、增强免疫力等方面有着重要作用^[11]。然而,已有研究主要在室内养殖系统中进行,目前还缺乏在室外网箱养殖条件下饲料中添加酵母培养物对大规模鱼种饲喂效果的评估研究。

松浦镜鲤(*Cyprinus carpio* var. *specularis* ‘Songpu’)为鲤形目(Cypriniformes)鲤科(Cyprinidae)鱼类,是黑龙江水产研究所利用德国镜鲤(*Cyprinus carpio* var. *specularis germanesis*)选育系F4选育出的新型品种,具有少鳞、生长速度快、蛋白质含量高、养殖成活率高等特点,现已成为中国最受欢迎的商品鱼之一^[12-13]。目前,关于饲料中添加酵母培养物对松浦镜鲤生长和健康的影响研究还未见报道。本研究以较大规格的松浦镜鲤为研究对象,在室外网箱养殖条件下评估饲料中添加酵母培养物对该鱼种生长性能、肌肉营养成分、血清和肝的生化指标以及肝组织学结构的影响,以便为酵母培养物在水产饲料中的合理使用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 实验饲料

本研究所用饲料的原料除鱼粉为自越南进口外,其余原料均由巨星农牧有限公司提供,基础饲料配方及营

* 收稿日期:2021-10-27 修回日期:2021-11-26 网络出版时间:2022-05-17 09:38

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:严冰荣,女,研究方向为鱼类生理生态学,E-mail: 944509342@qq.com;通信作者:黄超,男,营养师,E-mail:1012765087@qq.com

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20220516.1537.002.html

营养成分见表 1。酵母培养物购于美国达威农公司,为浓缩型产品。除 1 组实验饲料直接采用基础饲料不添加酵母培养物外,在配制其余两组实验饲料时则根据产品建议添加量向基础饲料中分别添加质量分数分别为 0.03% 和 0.06% 的酵母培养物。分别将上述 3 组实验饲料命名为 YC0、YC0.03 和 YC0.06。将饲料原料粉碎后过 80 目筛,然后充分混匀后制成粒径为 3 mm 的颗粒饲料,常温风干后于 -20 °C 保存备用。

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)

饲料组成及营养水平	质量分数/%	饲料组成及营养水平	质量分数/%		
饲料组成	面粉	11.00	氯化胆碱	0.20	
	木薯粉	6.13	L-肉碱盐酸盐	0.02	
	米糠	6.00	L-抗坏血酸-2-磷酸酯	0.02	
	大豆油	6.00	多维	0.02	
	豆粕	35.00	枯草芽孢杆菌	0.10	
	鱼粉	19.00	饲料组成	乙氧基喹啉	0.02
	鸡肉粉	7.00	丙酸	0.03	
	葵仁粕	6.00	甜菜碱	1.05	
	氯化钠	0.10	预混料	1.00	
	磷酸二氢钙	2.00	γ -氨基丁酸	0.01	
	羟基蛋氨酸钙	0.15	合计	100.00	
	L-苏氨酸硫酸盐	0.03	营养水平	粗蛋白	36.98
	L-色氨酸硫酸盐	0.01		粗脂肪	7.61
	维生素 E	0.01		灰分	9.28

注:鱼粉进口自越南;多维、预混料成分保密

1.2 饲养管理

养殖实验在四川省乐山市犍为县鱼料实验基地的户外网箱内进行,实验所用松浦镜鲤为巨星农牧有限公司提供。正式实验开始前,将实验鱼暂养于网箱内适应环境,在此期间投喂基础饲料。驯化 14 d 后,选取健康且规格一致(体质量约 345 g)的松浦镜鲤投放至 9 个网箱(规格均为 3 m×3 m×2 m)中,每个网箱中鱼的总质量为 77 kg。将 3 组实验饲料随机分配给 3 个网箱,即 YC0、YC0.03 和 YC0.06 处理组均设置 3 个重复。所有网箱均在同一环境中进行养殖实验,实验周期为 42 d。每日 7:00,11:00 和 18:00 投喂 1 次,日投喂量为实验鱼体质量的 3%~5%。实验期间水体溶氧量大于 6.0 mg·L⁻¹,水温为 23.1~35.4 °C,氨氮质量分数小于 0.1 mg·L⁻¹。

1.3 样品采集与分析

1.3.1 样品采集 采样前所有实验鱼停食 24 h,然后测定每个网箱中的所有实验鱼的体质量,用于计算体质量增长率(MGR)和特定生长率(SGR)。从每个网箱中随机取 6 尾鱼,用 MS-222 麻醉,测量体长和体质量后从尾静脉取血,而后迅速解剖分离出内脏并测定内脏质量和肝质量,以计算与之有关的生长性能指标。将获得的血液在 4 °C 静置 4 h 后于 3 500 r·min⁻¹ 离心 15 min,收集上清液保存在 -80 °C 冰箱中,用于血清生化指标的测定;将分离得到的肝组织用液氮速冻后于 -80 °C 保存,用于肝组织抗氧化指标的测定。同时,取每尾鱼背部肌肉约 5 g,用于肌肉营养成分的测定。此外,从每个网箱随机取 2 尾鱼的肝组织,经多聚甲醛固定后常温保存,用于肝组织学结构观察。

1.3.2 生长性能指标计算 本研究中与生长性能有关的指标计算公式为:

$$V_{MGR} = \frac{M_t - M_0}{M_0} \times 100\%, V_{SGR} = \frac{\ln M_t - \ln M_0}{T} \times 100\%, V_{SR} = \frac{N_t}{N_0} \times 100\%, V_{HSI} = \frac{M_l}{M_t} \times 100\%,$$

$$V_{VSI} = \frac{M_v}{M_t} \times 100\%, V_{CF} = \frac{M_t}{L^3} \times 100\%, V_{PER} = \frac{M_t - M_0}{FP}, V_{FCR} = \frac{F}{M_t - M_0}.$$

其中: V_{MGR} , V_{SGR} , V_{SR} , V_{HSI} , V_{VSI} , V_{CF} , V_{PER} 和 V_{FCR} 分别为 MGR、SGR、存活率(SR)、肝体比(HSI)、脏体比

(VSI)、肥满度(CF)、蛋白质效率(PER)和饵料系数(FCR); M_0 为实验鱼初始体质量(单位:g); M_t 为实验结束时实验鱼终末体质量(FBM,单位:g); N_0 为实验初始时实验鱼总尾数; N_t 为实验结束时实验鱼总尾数; L 为实验结束时实验鱼体长(单位:cm); F 为摄食量(单位:g); T 为养殖时间(单位:d); P 为饲料中的粗蛋白质量分数; M_V 和 M_L 分别为实验鱼内脏和肝组织的质量(单位:g)。

1.3.3 饲料及肌肉营养成分分析 饲料及实验鱼的粗蛋白、粗脂肪的质量分数分别采用丹麦福斯公司出品的KT260型全自动凯氏定氮仪和 Soxtec 8000型索氏抽提仪测定;两者的粗灰分质量分数采用高温灼烧法测定。饲料及实验鱼的水分质量分数测定方法为:将两者在105℃烘箱中烘至质量恒定后测得两者的干质量,然后用两者的鲜质量减去干质量,所得差值再分别除以两者鲜质量即可得到两者的水分质量分数。

1.3.4 血清和肝组织生化指标测定 总抗氧化能力(T-AOC)、还原型谷胱甘肽(GSH)含量、谷丙转氨酶(ALT)活性、谷草转氨酶(AST)活性、过氧化氢酶(CAT)活性和超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定均采用南京建成生物工程有限公司的试剂盒测定,具体操作步骤按说明书中有关内容进行。

1.3.5 肝组织学结构观察 将经多聚甲醛固定后的肝组织进行乙醇梯度脱水,然后经二甲苯透明后,放入石蜡中包埋。将包埋材料进行常规切片,切片厚度为5 μm。采用苏木精-伊红(HE)染色,中性树胶封片后在200倍显微镜下观察并拍照。

1.4 数据统计

实验数据以“平均值±标准差”表示,采用SPSS 20.0统计软件进行单因素方差(One-way ANOVA)分析和Tukey多重比较。当 $p < 0.05$ 时,方差分析及多重比较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YC0组相比,YC0.06组的MGR和SGR有统计学意义上的升高($p < 0.05$)。YC0.03组的MGR和SGR与YC0组相比略有升高,但差异不具有统计学意义。YC0.06组的HSI和FCR比YC0组的这两个指标更低,且差异具有统计学意义($p < 0.05$);YC0.03组的HSI和FCR与YC0组相比略有降低但差异不具有统计学意义。此外,3个处理组的FBM、SR、CF、VSI和PER均无统计学意义上的差异。

表2 酵母培养物对松浦镜鲤生长性能的影响
Tab.2 Effect of yeast culture on growth performance of Songpu mirror carp

指标	YC0组	YC0.03组	YC0.06组
FBM/g	679.73±4.21 ^a	682.45±1.72 ^a	687.10±1.97 ^a
MGR	95.67%±0.00% ^a	96.75%±0.00% ^{ab}	98.10%±0.01% ^b
SGR/d ⁻¹	1.60%±0.01% ^a	1.61%±0.01% ^{ab}	1.63%±0.01% ^b
SR	99.40%±0.01% ^a	99.55%±0.00% ^a	99.55%±0.01% ^a
HSI	2.80%±0.08% ^a	2.74%±0.07% ^{ab}	2.66%±0.05% ^b
VSI	11.13%±0.49% ^a	11.10%±0.46% ^a	11.03%±0.39% ^a
CF/(g·cm ⁻³)	3.51±0.05 ^a	3.53±0.06 ^a	3.57±0.05 ^a
PER	1.88±0.02 ^a	1.88±0.01 ^a	1.90±0.02 ^a
FCR	1.44±0.01 ^a	1.42±0.01 ^{ab}	1.40±0.02 ^b

注:不同小写字母表示不同处理组的某一指标数据差异具有统计学意义($p < 0.05$),下同

2.2 对肌肉成分的影响

由表3可知:YC0.03组和YC0.06组实验鱼肌肉的蛋白质和脂肪质量分数均比YC0组的这两个指标更高,差异具有统计学意义($p < 0.05$),而3个处理组的水分和灰分质量分数差异均无统计学意义。

2.3 对血清生化指标的影响

表4显示:与YC0组相比,YC0.03组和YC0.06组实验鱼血清T-AOC升高而ALT活性降低,且YC0.03组与其他两组相比这两项指标均有统计学意义上的差异($p < 0.05$);但3个处理组的血清GSH含量、AST活性及SOD活性均无统计学意义上的差异。

表 3 酵母培养物对松浦镜鲤肌肉成分的影响

Tab. 3 Effect of yeast culture on muscle composition of Songpu mirror carp

%

指标	YC0 组	YC0.03 组	YC0.06 组	指标	YC0 组	YC0.03 组	YC0.06 组
水分质量分数	76.87±1.02 ^a	76.40±0.64 ^a	76.30±0.15 ^a	粗脂肪质量分数	13.02±0.07 ^a	13.51±0.02 ^b	13.70±0.01 ^c
粗蛋白质量分数	78.33±0.25 ^a	79.17±0.25 ^b	79.27±0.15 ^b	灰分质量分数	4.64±0.20 ^a	4.77±0.27 ^a	4.62±0.13 ^a

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

表 4 酵母培养物对松浦镜鲤血清生化指标的影响

Tab. 4 Effect of yeast culture on serum biochemical indexes of Songpu mirror carp

指标	YC0 组	YC0.03 组	YC0.06 组
T-AOC/(U·mL ⁻¹)	1.45±0.00 ^a	1.67±0.01 ^b	1.57±0.00 ^a
GSH 含量/(U·L ⁻¹)	11.96±0.16 ^a	14.45±1.15 ^a	11.35±0.73 ^a
ALT 活性/(U·L ⁻¹)	23.96±1.24 ^a	11.40±1.88 ^b	18.76±0.97 ^a
AST 活性/(U·L ⁻¹)	43.18±3.72 ^a	35.73±1.67 ^a	36.05±2.70 ^a
SOD 活性/(U·mL ⁻¹)	68.84±7.51 ^a	57.48±3.31 ^a	77.69±3.18 ^a

2.4 对肝抗氧化指标的影响

由表 5 可知:YC0.06 组肝 CAT 活性高于 YC0 组肝 CAT 活性,两者差异具有统计学意义($p < 0.05$); YC0.03 组与 YC0 组相比,肝 CAT 活性略有升高但差异不具有统计学意义。3 个处理组的肝 T-AOC、SOD 活性及 GSH 含量均无统计学意义上的差异。

表 5 酵母培养物对松浦镜鲤肝组织抗氧化能力的影响

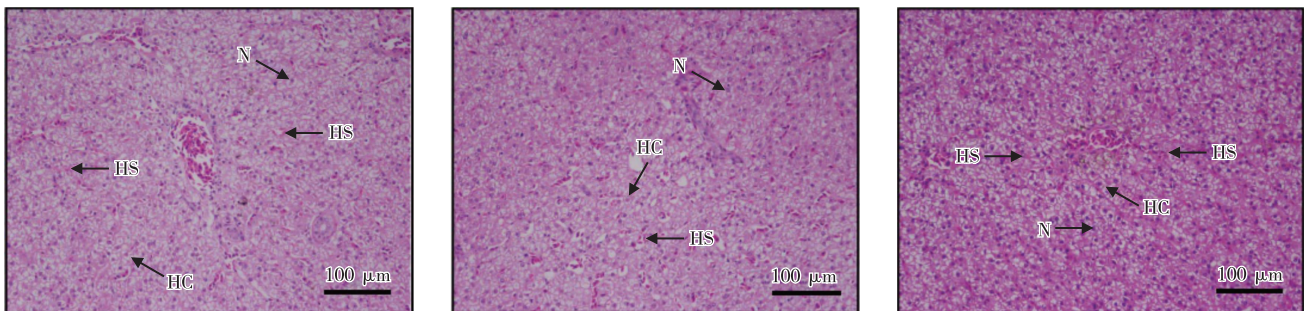
Tab. 5 Effect of yeast culture on liver tissue antioxidant capacity of Songpu mirror carp

指标	YC0 组	YC0.03 组	YC0.06 组
T-AOC/(U·mg ⁻¹)	0.16±0.00 ^a	0.16±0.01 ^a	0.18±0.00 ^a
GSH 含量/(U·g ⁻¹)	12.81±0.49 ^a	12.15±1.56 ^a	13.17±1.03 ^a
CAT 活性/(U·mg ⁻¹)	0.99±0.04 ^a	1.06±0.11 ^{ab}	1.40±0.11 ^b
SOD 活性/(U·mg ⁻¹)	16.46±0.07 ^a	16.42±0.33 ^a	17.74±0.48 ^a

注:表中指标均以样品蛋白质的质量计

2.5 对肝组织学结构的影响

饲料中添加酵母培养物对松浦镜鲤肝组织学结构的影响见图 1。与 YC0 组相比, YC0.03 组和 YC0.06 组实验鱼的肝细胞排列更加均匀规则,细胞界限更清晰。



a YC0 组松浦镜鲤肝组织结构

b YC0.03 组浦镜鲤肝组织结构

c YC0.06 组浦镜鲤肝组织结构

注:N——细胞核; HC——肝细胞; HS——肝血窦

图 1 不同酵母培养物水平下松浦镜鲤肝组织结构

Fig. 1 Effect of different yeast culture levels on hepatic structure of Songpu mirror carp

3 讨论与结论

酵母培养物是酵母菌在特定条件下经微生物厌氧发酵而产生的一种微生态发酵产品,由变性培养基、酵母细胞、细胞外代谢物等组成^[14],含有丰富的有机酸、氨基酸、蛋白质等营养物质和多种“未知因子”^[15],可通过改善肠道形态结构和微生物菌群来增强诱食活性和刺激消化酶分泌,促进饲料营养物质的消化、吸收和利用,从而达到促进生长的效果^[16]。研究表明,饲料中添加酵母培养物能提高凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的MGR、SGR和饲料转化率,减少肠道中的致病菌并增加有益菌,增强凡纳滨对虾的抗病能力,提高存活率^[17-18];Liu等人^[19]也发现,当饲料中酵母培养物添加量以质量分数计为12%时,草鱼获得最佳的生长性能,且肠道微生物中有益菌的比例最高;王成强等人^[20]在珍珠龙胆石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂)幼鱼的研究中发现,添加适宜水平酵母培养物的饲料具有明显的促生长作用,但当添加量过高时,则会抑制该鱼的生长,这可能是由于过量酵母添加物导致肠道微生态系统失衡所致。与他人的研究相比,本研究所用酵母培养物为浓缩型产品,故添加量较低。在本研究中,YC0.06组松浦镜鲤的MGR和SGR明显比YC0组的这两个指标更高,差异具有统计学意义($p < 0.05$);而在HSI和FCR方面明显低于YC0组,差异具有统计学意义($p < 0.05$)。这一结果表明饲料中添加低剂量的酵母培养物对松浦镜鲤也有促进生长的作用。本研究还发现,YC0.03组和YC0.06组松浦镜鲤的肌肉中蛋白质和脂肪的质量分数与YC0组相比有统计学意义上的增加($p < 0.05$)。与YC0组相比,YC0.03组和YC0.06组的PER虽无明显变化,但也呈上升趋势。蛋白质是鱼体组织器官的基本组成部分,是决定鱼类免疫功能、生长的关键营养物质,鱼体内蛋白质含量升高,通常生长性能和免疫力会提升^[21]。当体内蛋白质含量超过组织需求时,会转化为脂肪储存在机体内。程鑫等人^[11]发现,饲料中添加酵母培养物能增加黄颡鱼体内蛋白质蓄积;孙飞^[22]的研究结果也显示,饲料中添加适量酵母培养物能使黄颡鱼体内蛋白质和脂肪含量上升。这可能是由于酵母培养物中氨基酸、有机酸等物质具有诱食与营养作用,而酵母培养物中所含酶类也具有促消化作用,因此鱼类对饲料蛋白质的利用率得以提升,且鱼类对非淀粉多糖的分解和利用也得以加强。

ALT和AST是鱼体内重要的氨基酸转氨酶,它们的主要功能是参与非必需氨基酸的合成以及蛋白质的分解^[23]。血清中ALT和AST主要来源于肝细胞,在机体代谢中发挥重要作用。正常情况下,血清中这两种转氨酶的活性较低;当肝组织受损时,肝细胞中的转氨酶进入血液,ALT和AST活性相应升高^[24-25]。因此,可通过检测血清中ALT和AST的活性来评估肝组织的受损情况。在本研究中,添加质量分数为0.03%的酵母培养物明显降低了松浦镜鲤血清中ALT的活性,添加质量分数为0.06%酵母培养物虽然没有使这两种转氨酶活性发生明显变化,但与未添加酵母培养物的YC0组相比,该指标也有轻微下降。类似地,饲料中添加适宜的酵母培养物能明显降低珍珠龙胆石斑鱼幼鱼血清中ALT、AST和碱性磷酸酶的活性,提高鱼体的抗病力^[20];康学会等人^[26]对异育银鲫(*Carassius auratus gibelo*)的研究发现,饲料中添加适宜的酵母培养物有益于鱼体肝组织功能的正常运转,降低血清中ALT和AST的活性水平。因此,饲料中添加适宜水平的酵母培养物可以有效的保护鱼类肝组织,并能使鱼体维持在健康的水平。

在正常的生化反应中,机体能通过体内的酶和非酶抗氧化系统清除过量的自由基^[12]。作为主要的非酶类抗氧化物,GSH是由谷氨酸、甘氨酸和半胱氨酸组成的含巯基低分子肽,能够清除自由基、维持细胞生长^[27]。本研究中,添加酵母培养物对松浦镜鲤的肝组织和血清的GSH活性没有明显影响,这可能与酵母培养物的添加量较少有关。CAT和SOD是体内最重要的酶类抗氧化系统。CAT能清除体内的过氧化氢^[9],而SOD能清除超强阴离子自由基,保护细胞免受损伤^[20,28]。T-AOC可以显示生物机体非酶系统和酶系统的抗氧化水平,反映机体对外来刺激的代偿能力以及机体清除自由基的状态^[20,29]。在本研究中,饲料中添加酵母培养物对松浦镜鲤血清和肝组织中的SOD活性无明显影响,但YC0.03组血清中T-AOC及YC0.06组肝组织中CAT的活性均明显比YC0组的这两项指标更高。程鑫等人^[11]的研究发现,饲料中添加酵母培养物能明显提高黄颡鱼肝组织中SOD和CAT的活性;王成强等人^[20]的研究结果显示,珍珠龙胆石斑鱼饲料中添加质量分数为0.5%的酵母培养物明显提高了肠道SOD、CAT的活性和T-AOC。此外,在对斑点叉尾鲴^[9]、草鱼^[10]、异育银鲫^[26]等鱼类的研究中也表明,酵母培养物能增强鱼体的抗氧化能力。在本研究中,肝组织学分析结果显示,饲料中添加酵母培养物使松浦镜鲤肝细胞排列更规则,细胞间隙更清晰。陶胜强^[14]的研究发现,饲料中添加质量分数为2%的酵母培养物可以减轻由CCl₄造成的乌苏里拟鲮(*Pseudobagrus ussuriensis*)肝组织损伤,改善肝组织结构病理形态;

赵贵萍^[30]的研究结果显示,随着豆粕替代鱼粉水平的升高,未添加酵母培养物组的大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)肝细胞逐渐空泡化、肝血窦间隙增大、细胞界限模糊,而添加了酵母培养物组的肝组织内脂肪空泡明显减少、细胞界限清晰、肝细胞结构完整。添加酵母培养物有利于维持和保护肝组织结构,可能与酵母培养物中含有 β -葡聚糖和甘露寡糖有关。研究表明, β -葡聚糖可以激活巨噬细胞、中粒性细胞、B淋巴细胞和T淋巴细胞,增强巨噬细胞的吞噬作用和细胞因子的产生^[5];而酵母细胞壁上的甘露寡糖可以通过阻止细菌附着在肠道表面的甘露糖残基上,防止有害细菌在肠道内定植,从而提高机体的抗氧化能力^[31]。此外,酵母培养物中的维生素、核苷酸、多肽和氨基酸也具有维持细胞完整性和提高抗氧化能力的作用^[14]。

总而言之,本研究表明,饲料中添加酵母培养物能提高松浦镜鲤的生长性能,增加肌肉中蛋白质和脂肪含量,有助于提高肝组织抗氧化能力并维持肝组织健康。

参考文献:

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of world fisheries and aquaculture: opportunities and challenges[R]. Rome:FAO,2016.
- [2] THITAMADEE S,PRACHUMWAT A,SRISALA J,et al. Review of current disease threats for cultivated penaeid shrimp in Asia[J]. Aquaculture,2016,452:69-87.
- [3] RATTANAVICHAI W,CHEN Y N,CHANG C C,et al. The effect of banana (*Musa acuminata*) peels hot-water extract on the immunity and resistance of giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* via dietary administration for a long term: activity and gene transcription[J]. Fish & Shellfish Immunology,2015,46(2):378-368.
- [4] 何远法,郁欢欢,迟淑艳,等. 酵母培养物对凡纳滨对虾生长性能、非特异性免疫力和抗病力的影响[J]. 动物营养学报,2016,28(12):4063-4072.
HE Y F,YU H H,CHI S Y,et al. Effects of yeast culture on growth performance, nonspecific immunity and disease resistance of *Litopenaeus vannamei*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition,2016,28(12):4063-4072.
- [5] JENSEN G S,PATTERSON K M,YOON I. Yeast culture has anti-inflammatory effects and specifically activates NK cells[J]. Comparative Immunology Microbiology & Infectious Diseases,2008,31(6):487-500.
- [6] MURRAY J A M D,BROWN S,O'SHAUGHNESSY P J,et al. Effect of live yeast culture supplementation on fibrolytic and saccharolytic bacterial populations in the feces of horses fed a high-fiber or high-starch diet[J]. Journal of Equine Veterinary Science,2016,51:41-45.
- [7] ZHANG J,WAN K,XIONG Z B,et al. Effects of dietary yeast culture supplementation on the meat quality and antioxidant capacity of geese[J]. Journal of Applied Poultry Research,2021,30(1):100116.
- [8] ZHEN Y G,ZHAO W,CHEN X,et al. Effects of yeast culture on broiler growth performance,nutrient digestibility and caecal microbiota[J]. South African Journal of Animal Science,2019,49(1):99-108.
- [9] 雷宇杰,刘开放,李峥,等. 饲料添加酵母培养物对斑点叉尾鲷幼鱼生长性能、营养物质消化率、免疫性能和肠道菌群的影响[J]. 饲料研究,2020,43(7):52-57.
LEI Y J,LIU K F,LI Z,et al. Effects of yeast culture on growth performance,nutrient digestibility,immunity and intestinal flora of juvenile channel catfish[J]. Feed Research,2020,43(7):52-57.
- [10] 李军涛,解宜兴,冼健安,等. 酒糟酵母培养物部分替换饲料对草鱼生长性能及肠道微生物的影响[J]. 饲料研究,2021,44(7):63-68.
LI J T,JIE Y X,XIAN J A,et al. Effect of partial replacement of feed with distiller's grains yeast culture on growth performance and intestinal microflora of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. Feed Research,2021,44(7):63-68.
- [11] 程鑫,潘婷婷,金敏,等. 饲料中添加酵母培养物对黄颡鱼生长性能、非特异性免疫和肠道健康的影响[J]. 水产学报,2019,43(4):1080-1091.
CHENG X,PAN T T,JIN M,et al. Effects of dietary yeast culture supplementation on growth performance,nonspecific immunity and intestinal health of *Pelteobagrus fulvidraco*[J]. Journal of Fisheries of China,2019,43(4):1080-1091.
- [12] 位莹莹,徐奇友,李晋南,等. 不同蛋白质水平饲料中添加 α -酮戊二酸对松浦镜鲤生长性能、体成分和血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报,2013,25(12):2958-2965.
WEI Y Y,XU Q Y,LI J N,et al. Effects of α -ketoglutarate supplementation in different protein level diets on growth performance,body composition and serum biochemical indices of Songpu mirror carp[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition,2013,25(12):2958-2965.

- [13] 石连玉,李池陶,葛彦龙,等.黑龙江水产研究所鲤育种概要[J].水产学杂志,2016,29(3):1-8.
SHI L Y, LI C T, GE Y L, et al. A review: common carp breeding in Heilongjiang fisheries research institute[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2016, 29(3): 1-8.
- [14] 陶胜强.酵母培养物对四氯化碳诱导乌苏里拟鲮肝损伤干预作用的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2020.
TAO S Q. The effects of yeast culture against CCl_4 induced liver damage in *Pseudobagrus ussuriensis* [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2020.
- [15] 孙喆,甄玉国,鲍男,等.酵母培养物在动物生产中营养及保健作用的研究[J].中国畜牧杂志,2014,50(24):65-68.
SUN Z, ZHEN Y G, BAO N, et al. Progress in the research of yeast culture on nutrition and health care function in animal production[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2014, 50(24): 65-68.
- [16] 高绪娜,陈玉春,赵倩,等.酵母培养物促水产动物生长机理研究进展[J].饲料与畜牧,2015(3):24-26.
GAO X N, CHEN Y C, ZHAO Q, et al. Research progress of yeast culture promoting growth mechanism of aquatic animals [J]. Chinese Journal of Feed and Animal Husbandry, 2015(3): 24-26.
- [17] AYIKU S, SHEN J F, TAN B P, et al. Effects of dietary yeast culture on shrimp growth, immune response, intestinal health and disease resistance against *Vibrio harveyi* [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2020, 102: 286-295.
- [18] BURGENTS J E, BURNETT K G, BURNETT L E, et al. Disease resistance of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, following the dietary administration of a yeast culture food supplement[J]. Aquaculture, 2003, 231(1/2/3/4): 1-8.
- [19] LIU H, LI J T, GUO X W, et al. Yeast culture dietary supplementation modulates gut microbiota, growth and biochemical parameters of grass carp [J]. Microbial biotechnology, 2018, 11(3): 551-565.
- [20] 王成强,李宝山,王际英,等.饲料中添加枯草芽孢杆菌和酵母培养物对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长、血清生化指标及抗氧化能力的影响[J].渔业科学进展,2019,40(4):47-56.
WANG C Q, LI B S, WANG J Y, et al. Effects of dietary bacillus subtilis and yeast culture on growth, serum biochemical indices and antioxidant capacity of juvenile hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) [J]. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(4): 47-56.
- [21] 杨兰,吴莉芳,瞿子惠,等.饲料蛋白质水平对洛氏鲮生长、非特异性免疫及蛋白质合成的影响[J].水生生物学报,2018,42(4):709-718.
YANG L, WU L F, QU Z H, et al. Effect of dietary protein levels on the growth performance, activity of non-specific immunity and protein synthesis capacity of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2018, 42(4): 709-718.
- [22] 孙飞.日粮豆粕含量对黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)生长和健康的损伤以及二种添加剂对其修复作用的研究[D].苏州:苏州大学,2020.
SUN F. The study on the damage of the growth and health of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) by the content of soybean meal in diet and on the repairing effect of two additives [D]. Suzhou: Soochow University, 2020.
- [23] 李开放,徐奇友.白藜芦醇对松浦镜鲤生长性能、肠道消化酶活性、肝脏抗氧化指标和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2019,31(4):1833-1841.
LI K F, XU Q Y. Effects of resveratrol on growth performance, intestinal digestive enzyme activities, liver antioxidant indices and serum biochemical indices of Songpu mirror carp [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(4): 1833-1841.
- [24] 惠天朝,施明华,朱荫涓.硒对罗非鱼慢性镉中毒肝抗氧化酶及转氨酶的影响[J].中国兽医学报,2000,20(3):264-266.
HUI TC, SHI M H, ZHU Y M. Effects of selenium on antioxidant enzymes and transaminases of liver in cadmium chronic toxic *Tilapia nilotica* [J]. Chinese Journal of Veterinary Science, 2000, 20(3): 264-266.
- [25] 张春暖,普畅畅,袁小玉,等.饲料中添加果寡糖和德式乳酸菌对锦鲤生长、血液指标和抗氧化指标的影响[J].中国水产科学,2021,28(8):1001-1010.
ZHANG C N, PU C C, YUAN X Y, et al. Effect of dietary fructooligosaccharide and *Lactobacillus delbrueckii* on growth performance, blood index, and antioxidant activity in koi carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(8): 1001-1010.
- [26] 康学会,霍雅文,李永娟,等.饲料中添加酵母培养物(百惠康)替代鱼粉对异育银鲫生长性能及血液指标的影响[J].饲料研究,2017(9):31-36.
KANG X H, HUO Y W, LI Y J, et al. Effect of dietary addition of yeast cultures (Baihuikang) in replacement of fish meal on growth performance and blood index of *Carassius auratus gibelio* [J]. Feed Research, 2017(9): 31-36.
- [27] 宋芳杰,王连生,徐奇友.谷氨酰胺及其前体物对松浦镜鲤组织抗氧化能力及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(2):627-634.

- SONG F J, WANG L S, XU Q Y. Effects of glutamine and its precursors on tissue antioxidant capacity and serum biochemical indices of Songpu mirror carp[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(2): 627-634.
- [28] 张滕闲, 陈钱, 张宝龙, 等. 姜黄素对黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 生长、消化与抗氧化能力的影响[J]. 渔业科学进展, 2017, 38(6): 56-63.
- ZHANG T X, CHEN Q, ZHANG B L, et al. The effects of curcumin on the growth, digestion and antioxidant ability of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. Progress in Fishery Sciences, 2017, 38(6): 56-63.
- [29] 冯广朋, 庄平, 章龙珍, 等. 温度对中华鲟幼鱼代谢酶和抗氧化酶活性的影响[J]. 水生生物学报, 2012, 36(1): 137-142.
- FENG G P, ZHUANG P, ZHANG L Z, et al. Effects of water temperature on metabolic enzyme and antioxidant activities in juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(1): 137-142.
- [30] 赵贵萍. 不同豆粕水平的饲料中添加一种酵母培养物(益康 XP)对大菱鲂生长、组织学结构以及肠道菌群的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- ZHAO G P. Effects of yeast culture supplemented to diets containing different levels of soybean meal on growth performance, histological structure and microbiology of turbot (*Scophthalmus maximus*) [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008.
- [31] MOURÃO J L, PINHEIRO V, ALVES A, et al. Effect of mannan oligosaccharides on the performance, intestinal morphology and cecal fermentation of fattening rabbits[J]. Animal Feed Science and Technology, 2005, 126(1/2): 107-120.

Animal Sciences

Effect of Dietary Yeast Culture Supplementation on Growth and Biochemical Indices of Songpu Mirror Carp

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

(1. Chongqing Key Laboratory of Animal Biology, College of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;
2. Giantstar Farming & Husbandry Co., Ltd., Chengdu 611230, China)

Abstract: [Purposes] To investigate the effect of yeast culture on the growth and biochemical indices of Songpu mirror carp (*Cyprinus carpio* var. *specularis* 'Songpu'). [Methods] 0 (control group, YC0), 0.03%, and 0.06% (YC0.03 and YC0.06) of yeast culture were added to the basic feed to prepare three groups of experimental diets, and fed Songpu mirror carp with an initial weight of 345 g in pond cages for 42 days. [Findings] 1) Compared with the YC0, YC0.06 could increase the body mass gain ratio (MGR) and specific growth rate (SGR), and decrease the hepatosomatic index (HSI) and feed coefficient ratio (FCR) of Songpu mirror carp, which were statistically significant ($p < 0.05$). 2) The contents of protein and fat in the muscle of Songpu mirror carp in the treatment group were significantly higher than those in the YC0 ($p < 0.05$). 3) The total antioxidant capacity (T-AOC) of the serum in the YC0.03 was significantly higher than that of the YC0, while the activity of alanine aminotransferase (ALT) was significantly lower than that of the YC0 ($p < 0.05$). 4) The catalase (CAT) activity of the liver in the YC0.06 was significantly higher than that in the YC0 ($p < 0.05$). 5) The histological structure of the liver showed that the arrangement of hepatocytes in the yeast culture group was more regular and the cell boundary was clearer. [Conclusions] The addition of yeast culture to feed could improve the growth performance, immune function and liver health of Songpu mirror carp.

Keywords: yeast culture; Songpu mirror carp; growth performance; biochemical indices; histology

(责任编辑 方 兴)