



中国粮油学报
Journal of the Chinese Cereals and Oils Association
ISSN 1003-0174, CN 11-2864/TS

《中国粮油学报》网络首发论文

题目： 饲料酵母培养物提高异育银鲫的抗氧化、免疫能力及 CyHV-2 病毒攻毒保护能力

作者： 孙飞，吕昊，郁浓，叶元土，蔡春芳，吴萍，石瑶瑶，周文豪，李永娟

收稿日期： 2019-04-02

网络首发日期： 2019-10-08

引用格式： 孙飞，吕昊，郁浓，叶元土，蔡春芳，吴萍，石瑶瑶，周文豪，李永娟. 饲料酵母培养物提高异育银鲫的抗氧化、免疫能力及 CyHV-2 病毒攻毒保护能力 [J/OL]. 中国粮油学报.
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2864.ts.20190930.0907.002.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

饲料酵母培养物提高异育银鲫的抗氧化、免疫能力及 CyHV-2 病毒攻毒保护能力

孙 飞¹ 吕昊¹ 郁 浓¹ 叶元土^{1*} 蔡春芳¹

吴 萍¹ 石瑶瑶¹ 周文豪² 李永娟²

(苏州大学基础医学与生物科学学院¹, 苏州 215123)

(北京英惠尔生物科技有限公司², 北京 100081)

摘 要 为了研究饲料中酵母培养物(Yeast culture, YC)代替等质量鱼粉对异育银鲫生长性能和生理健康的影响。在含豆油(正对照)、氧化豆油(负对照)的基础饲料中分别以0%、1%、2%、3%的YC替代等质量的鱼粉,分别记为S、SC1、SC2、SC3、O、OC1、OC2、OC3,在池塘中养殖异育银鲫[初始体重为(7.08 ± 0.01) g] 65 d。养殖试验结束后,用异育银鲫 CyHV-2 病鱼内脏组织液对各试验组鲫鱼进行攻毒试验。结果显示:SC1、SC2、SC3 组与 S 组比较,SGR 和 FCR 无显著差异($P > 0.05$)。O 组与 S 组比较,SGR 下降 6.53% ($P < 0.05$); FCR 提高 16.27% ($P < 0.05$)。O 组结果比较:OC1、OC2、OC3 组 SGR 均提高 ($P < 0.05$), FCR 均下降 ($P < 0.05$)。各组血细胞和血清指标发生一定程度的变化。攻毒试验结果显示,与 S 组比较,SC1、SC2、SC3 组累积死亡数降低;与 O 组比较,OC1、OC2、OC3 组累积死亡数也降低。本试验结果表明,1)在基础日粮鱼粉为 12% 的条件下,用 1% ~ 3% YC 替代等质量的鱼粉具有一定的可行性。2)氧化豆油会导致异育银鲫氧化损伤。3)在含有氧化豆油的日粮中,饲料 YC 可以一定程度修复氧化损伤。4)本试验条件下,饲料 YC 可以增强异育银鲫免疫防御能力、抗氧化损伤的能力,综合表现为对 CyHV-2 病毒攻毒保护具有较好的效果。

关键词 异育银鲫 酵母培养物 生长速度 饲料效率 氧化损伤 氧化油脂 CyHV-2

文章编号:1003-0174(2019)09-0000-06

网络出版时间:

网络出版地址:

异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)是以原产于黑龙江方正县双凤水库的方正银鲫为母本(♀),江西兴国县的兴国红鲤为父本(♂),采用人工受精的方式,刺激方正银鲫的卵雌核发育而成^[1],是我国淡水养殖主要种类。

在异育银鲫养殖过程中面临着诸多问题,其中由饲料油脂氧化带来的营养性疾病和鲫鱼“鳃出血”病给鲫鱼养殖业带来严重的经济损失。油脂是鱼类重要的营养素,不仅可为动物体提供能量、必需脂肪酸等,还是组织细胞的重要组成成分,并且可作为脂溶性营养物质的载体,从而提高它们的吸收和利用效率。然而,在储存过程中,其含有的不饱和脂肪酸

在高温、高湿、光照、金属离子等环境条件下极易氧化,产生多种初级和次级氧化物,如过氧化物、醇类、醛类、酮类、烃类、酯类及多聚体等物质^[2]。这些氧化物被动物摄食后,可破坏其正常生理生化功能,危及健康、影响正常生长发育,诱发营养性疾病的发生^[3]。2009 年江苏射阳部分养殖场出现患“鳃出血病”的异育银鲫,死亡率极高^[4],经研究确诊,此病为鲤疱疹 II 型病毒(Cyprinid Herpesvirus 2, CyHV-2)所引起的^[5]。患病鲫鱼前期出现体色发黑、离群独游等症状;后期头、鳃、腹部、鱼鳍基部等遍布出血点,解剖发现内脏严重出血,有腹水,大侧肌成血红色,鱼鳃出血点明显;最典型特征为鱼鳃流血不止。此病蔓延迅速,危害巨大。

酵母培养物(百惠康)(Yeast culture, YC)是一类由酵母菌在特定培养基中经发酵、干燥得到的产品,

项目基金:酵母培养物(百惠康)在饲料中的应用(P113410318)

收稿日期:2019-04-02

作者简介:孙飞,男,1993 年出生,硕士,水产动物营养与饲料

通信作者:叶元土,男,1964 年出生,教授,食品质量与安全

包含了酵母菌体、次级代谢物、残余的培养基等成分。有报道显示,酵母类产品可以增强动物生长性能^[6,7],增强动物机体免疫^[8],提高动物抗病力^[9,10],并且对动物肠道健康具有正面作用^[11]。也有报道酵母源产品作为饲料原料的可能性,并且已经有学者在草鱼等鱼体上做了相关试验^[12],结果显示酵母源产品可以替代水产饲料中少量鱼粉。

本试验以异育银鲫为试验对象,在含有正常豆油、氧化豆油的日粮中,以酵母培养物等质量替代鱼粉,经过池塘网箱的养殖试验,探讨对异育银鲫生长性能、鱼体健康的影响;同时,以患 CyHV-2 病异育银鲫病鱼内脏组织为致病源进行攻毒试验。综合评价饲料酵母培养物在替代鱼粉、在维护鱼体健康、在氧化油脂损伤情况下的修复作用,以及在 CyHV-2 病毒攻毒保护的效果。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用酵母培养物(百惠康)由企业提供,实测常规成分为水分 4.98%,粗蛋白质 57.79%,粗脂肪 1.40%,粗灰分 8.57%。

1.2 试验饲料

基础饲料原料由企业提供。试验用豆油为一级大豆油。氧化豆油制作过程:在正常豆油中添加七水合硫酸亚铁 30 mg/L、五水硫酸铜 15 mg/L、30% 的过氧化氢 600 mg/L 和 0.3% 的水,混合后,放在 (80±2)℃ 的水浴锅中,每 30 min 充氧气 1 min(循环),氧化 14 d。在异育银鲫基础饲料中,豆油作为正对照组(S)、氧化豆油的为负对照组(O)。在含有正常豆油、氧化豆油的基础饲料中分别添加 0%、1%、2%、3% 的酵母培养物等质量替代鱼粉,共 8 个试验组,分别命名为 S、O、SC1、SC2、SC3、OC1、OC2 以及 OC3。各组饲料配方见表 1。

饲料原料经粉碎过 60 目筛,混合好的原料用小型环膜制粒机(温度 65℃)制成直径 1.5 mm,长 2~3 mm 的颗粒状饲料,水分风干至 13% 左右,置于 -20℃ 冰箱保存备用,使用前按需要量取出饲料自然解冻后投喂。

1.3 试验鱼与养殖管理

养殖试验在江苏省大丰市华辰水产实业有限公司华垦池塘网箱中进行,在面积为 40 m×60 m 的池塘中设置试验网箱 32 个(规格为 1.5 m×1.8 m×1.8 m)。试验网箱底部设置微孔增氧机增氧,池塘

中间设置 1 台叶轮式增氧机。

表 1 试验饲料组成及营养水平(风干基础)

项目	组别							
	S	SC1	SC2	SC3	O	OC1	OC2	OC3
细米糠	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
膨化大豆	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
豆粕	8.80	8.80	8.80	8.80	8.80	8.80	8.80	8.80
菜粕	13.99	13.99	13.99	13.99	13.99	13.99	13.99	13.99
棉粕	16.99	16.99	16.99	16.99	16.99	16.99	16.99	16.99
鱼粉	12.00	11.00	10.00	9.00	12.00	11.00	10.00	9.00
鸡肉粉	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
面粉	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99
磷酸二氢钙	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
沸石粉	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
膨润土	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
豆油	4.00	4.00	4.00	4.00				
氧化豆油					4.00	4.00	4.00	4.00
酵母培养物		1.00	2.00	3.00		1.00	2.00	3.00
预混料 ¹	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
合计	100	100	100	100	100	100	100	100
实测化学组成								
水分/%	12.56	13.52	12.98	12.63	13.13	13.14	12.96	13.72
粗蛋白/%	34.58	34.87	35.24	35.19	34.90	35.22	34.17	34.77
粗脂肪/%	9.85	9.79	9.56	9.46	9.59	9.64	9.58	9.74
灰分/%	12.38	11.37	11.89	12.51	12.63	12.64	12.5	12.46
酸价	20.92	21.14	21.46	21.27	24.65	25.15	24.63	24.81
过氧化值	2.2	2.4	2.7	2.6	12.8	13.3	12.6	12.8

注:1 预混料(mg/kg 饲料):铜 5,铁 180,锰 35,锌 120,碘 0.65,硒 0.57,钾 80,维生素 A 10,维生素 B1 8,维生素 B2 8,维生素 B6 20,维生素 B12 0.1,维生素 C 250,维生素 D3 4,维生素 K3 6,泛酸钙 20,烟酸 25,叶酸 5,肌醇 100。

试验用异育银鲫鱼种购自江苏省大丰市华辰水产实业有限公司。选取规格整齐的异育银鲫鱼种 1440 尾,平均质量为 (7.08±0.01) g。食盐消毒后,随机分成 8 组,每组设 4 个重复,共记 32 个网箱,每个网箱 45 尾鱼。试验鱼用对照组基础饲料驯化适应,每天早晚各投喂 2 次,驯化两周后开始正式投喂。日投喂 2 次(7:00—9:00,16:30—18:30),日投喂量为鱼种体重的 3%~5%,每 15 d 估算 1 次鱼体增重量,调整投喂量,正式投喂 65 d。每天 11:00 测试、记录水温。每 5 天测定水下 30 cm 处水质。整个实验期间水温 22~34℃,溶解氧浓度>5.0 mg/L,pH 8.2~8.6,氨氮浓度<0.2 mg/L,亚硝酸盐浓度<0.01 mg/L,硫化物浓度<0.05 mg/L。

1.4 样品采集

正式养殖试验结束后,最后一次饲料投喂 24 h 后,进行试验鱼采样工作。养殖实验结束,最后一次投喂饲料 24 h 后,对每个网箱的鱼称重,统计试验鱼数量、试验饲料投喂量,计算成活率、特定生长率和饲料系数。

血清采集用 1 mL 无菌注射器尾柄静脉采血,置

于 2 mL Eppendorf 管中自然凝固 4 h, 离心 (4 ℃, 3 500 r/min) 10 min 后, 取上层血清, 将同一个网箱中采集的血清混匀后, 分装 (每管 200 μL) 于 0.5 mL Eppendorf 管中 (每个网箱至少分装 12 管血清), 液氮速冻之后置于 -80 ℃ 超低温冰箱保存, 用于分析血清生理生化指标以及酶学指标。

全血采集每个网箱随机选取 2 尾鱼, 用 2 mL 无菌注射器尾柄静脉采血, 置于 2 mL 带 EDTA 抗凝剂的真空采血管中, 小心上下颠倒数次混匀, 每个网箱采集 2 管, 当日送达苏州市九龙医院, 挑选 1 管用于血液常规指标测定。

组织切片样品采集每个网箱随机选取 2 尾鱼, 解剖、分离内脏团, 分别取大小为 4 × 4 mm 的肝胰脏和长度为 1 cm 左右的中肠, 于灭菌的 0.75% 生理盐水中洗净后, 置于 10% 甲醛固定, 用于制作组织切片。

1.5 样品分析

常规样品分析饲料样品用冷冻干燥机干燥至恒重测其水分, 之后用于其它指标测定; 粗蛋白、粗脂肪、灰分、酸价和过氧化值采用国标规定的方法测定。

酶学指标分析超氧化物歧化酶活力 (U/mL)、过氧化氢酶活力 (U/mL)、丙二醛含量 (mmol/mL)、溶菌酶 (μg/mL)、二胺氧化酶 (U/L) 采用南京建成生产的试剂盒测定。

全血指标分析血细胞分类计数 (淋巴细胞数量、单核细胞数量、粒细胞数量) 采用五分类血细胞分析仪测定。

血清指标分析血清的血清免疫球蛋白含量、血清天门冬氨酸氨基转移酶和丙氨酸氨基转移酶含量采用雅培 C800 全自动生化分析仪测定。

组织切片甲醛固定的组织经洗涤、酒精梯度脱水、透明、透蜡、石蜡包埋后切片, 切片厚 5 μm, 组织切片经酒精梯度复水后, HE 染色, 酒精梯度脱水, 二甲苯透明, 中性树胶封片, 置于光学显微镜下观察肝、肠组织结构; 并采用 Nikon COOL-PIX4500 型相机进行拍照, Smart-4500 软件进行数据量化处理, 测量黏膜下层厚度、皱襞间质以及绒毛长度。

1.6 攻毒试验

养殖试验结束后, 在每个试验组的 3 个重复中随机选取 12 尾鱼用于 CyHV-2 病毒攻毒试验。CyHV-2 病毒是在大丰华晨水产养殖公司提供的“鳃出血”症状明显的病鱼中, 取其肝脏、脾脏、体肾和头肾制成组织混样, 按 1:9 灭菌 0.75% 生理盐水制作组织匀浆, 反复冻融 3 次 (使细胞破裂、释放出病

毒), 2 880 × g 离心 10 min, 上清液过 0.45 μm (带薄膜的 CyHV-2 病毒大小在 110 ~ 200 nm) 滤膜除菌, 所得的组织液即为病毒液, -80 ℃ 保存待用。通过预实验, 确定异育银鲫的半致死剂量为 0.25 mL, 攻毒时通过异育银鲫腹腔注射 0.25 mL CyHV-2 病毒液, 统计各组异育银鲫第 8 d 的累积死亡尾数并计算累积死亡率和攻毒保护率。

1.7 计算方法与统计分析

存活率 (Survival rate, SR, %) = $100 \times \text{终末鱼尾数} / \text{初始鱼尾数}$;

饲料系数 (Feed conversion ratio, FCR) = $\text{尾均摄食量} / (\text{终末均重} - \text{初始均重})$;

特定生长率 (Specific growth rate, SGR, %/d) = $100 \times (\ln \text{终末尾均重} - \ln \text{初始尾均重}) / \text{饲养天数}$;

累积死亡率 (Cumulative mortality rate, CMR, %) = $100 \times 7 \text{ d 时累积死亡数量} / \text{初始鱼尾数}$;

攻毒保护率 (Attack protection rate, %) = $100 \times (1 - \text{实验组累积死亡率} / \text{对照组累积死亡率})$;

试验数据以平均值 ± 标准差表示。采用 SPSS 22.0 软件对试验数据进行处理和统计学分析, 组间若有显著差异, 则进行 Duncan 氏多重比较, 显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 对异育银鲫生长性能的影响

经过 65 d 的池塘养殖试验, 各试验组的存活率、特定生长率以及饲料系数见表 3。可以得到以下结果: 1) 各试验组存活率无差异。2) 与 S 组比较, SC1、SC2、SC3 的特定生长率 SGR 下降 0.28% ~ 1.42% ($P > 0.05$); 氧化豆油 O 组较 S 组下降 6.53% ($P < 0.05$); 与 O 组比较, OC1、OC2、OC3 组 SGR 分别提高 4.24%、3.94%、4.24% ($P < 0.05$)。3) 饲料系数, SC1、SC2、SC3 组的 FCR 与 S 组结果比较差异不显著 ($P > 0.05$); O 组较 S 组上升 16.27% ($P < 0.05$); 与 O 组比较, OC1、OC2、OC3 组 FCR 分别下降 7.77%、6.74%、8.29% ($P < 0.05$)。

结果表明, 饲料中氧化豆油替换正常豆油后, 造成异育银鲫生长性能显著下降, 饲料系数显著上升; YC 代替饲料中质量 1% ~ 3% 的鱼粉后, 异育银鲫 SGR 有下降的趋势, 饲料系数有增加的趋势, 但差异不显著; 在氧化豆油日粮中, 在含有 12% 鱼粉的情况下, 用 1% ~ 3% 的酵母培养物等质量替代鱼粉后, 异育银鲫的生长速度、饲料效率有较好的恢复效果。

表2 酵母培养物对异育银鲫生长性能的影响(n=4)

项目	组别							
	S	SC1	SC2	SC3	O	OC1	OC2	OC3
初始均重/g	7.06±0.08 ^a	7.09±0.11 ^a	7.09±0.05 ^a	7.08±0.01 ^a	7.09±0.05 ^a	7.08±0.05 ^a	7.09±0.04 ^a	7.06±0.01 ^a
终末均重/g	70.46±6.65 ^a	69.90±1.63 ^a	68.98±3.05 ^a	68.04±2.77 ^a	60.64±2.70 ^b	66.23±1.00 ^{ab}	65.91±3.34 ^{ab}	66.24±4.42 ^{ab}
成活率/%	100±0.00 ^a	99.45±1.11 ^a	98.89±1.28 ^a	98.34±1.11 ^a	97.78±1.81 ^a	98.89±2.22 ^a	99.45±1.11 ^a	99.45±1.11 ^a
特定生长率/(%/d)	3.53±0.14 ^a	3.52±0.03 ^a	3.50±0.07 ^a	3.48±0.06 ^a	3.30±0.07 ^b	3.44±0.03 ^a	3.43±0.08 ^a	3.44±0.10 ^a
饲料系数	1.66±0.04 ^e	1.68±0.03 ^{de}	1.69±0.04 ^{cde}	1.72±0.08 ^{bcde}	1.93±0.04 ^a	1.78±0.06 ^{bc}	1.8±0.06 ^b	1.77±0.06 ^{bcd}

注:表中同行数据肩标不同字母表示差异显著(P<0.05),下表同。

表3 酵母培养物对异育银鲫机体抗氧化能力的影响(n=3)

项目	组别							
	S	SC1	SC2	SC3	O	OC1	OC2	OC3
血清总抗氧化酶活性/U/mL	18.5±2.94 ^b	20.78±4.37 ^{ab}	23.62±4.41 ^a	18.01±2.23 ^b	20.56±2.34 ^{ab}	22.42±2.93 ^{ab}	20.13±1.45 ^{ab}	19.49±1.85 ^{ab}
血清总超氧化物歧化酶活性/U/mL	36.3±5.15 ^c	42.74±1.49 ^{ab}	44.6±2.96 ^{ab}	46.28±0.87 ^a	39.84±1.02 ^{bc}	45.81±1.25 ^a	44.39±3.77 ^{ab}	45.48±0.37 ^a
血清过氧化氢酶活性/U/mL	2.7±0.08 ^f	3.06±0.06 ^e	3.81±0.15 ^a	3.25±0.1 ^d	2.48±0.1 ^g	3.53±0.08 ^e	3.65±0.1 ^{bc}	3.77±0.13 ^{ab}
血清丙二醛含量/nmol/mL	19.89±1.48 ^b	18.46±1.85 ^b	20.29±1.67 ^b	20.97±1.39 ^b	23.69±1.54 ^a	19.8±1.75 ^b	19.4±2.27 ^b	19.29±1.2 ^b

表4 酵母培养物对异育银鲫机体免疫能力的影响(n=4)

项目	组别							
	S	SC1	SC2	SC3	O	OC1	OC2	OC3
特异性免疫								
血液淋巴细胞含量/10 ⁹ /L	153.5±17.35 ^b	167.39±32.61 ^b	167.45±40.89 ^b	177.07±8.01 ^b	798.25±34.38 ^a	159.81±26.18 ^b	180.26±34.44 ^b	148.91±9.44 ^b
血清免疫球蛋白含量/g/L	11.13±0.92 ^a	10.65±0.99 ^a	10.9±0.96 ^a	11.43±0.64 ^a	11.23±0.9 ^a	11.55±0.45 ^a	11.45±0.54 ^a	10.38±0.29 ^a
非特异性免疫								
血液嗜中性粒细胞数量/10 ⁹ /L	2.98±0.77 ^d	3.22±0.2 ^d	3.53±0.71 ^d	3.75±0.49 ^d	11.62±1.49 ^a	8.07±2.31 ^b	5.58±0.79 ^c	4.4±0.55 ^{cd}
血液单核细胞数量/10 ⁹ /L	1.21±0.13 ^b	0.84±0.09 ^c	0.64±0.05 ^d	0.59±0.11 ^{de}	1.96±0.11 ^a	0.44±0.05 ^f	0.46±0.09 ^{ef}	0.43±0.04 ^f
血清溶菌酶含量/μg/mL	4.27±0.45 ^{ab}	3.56±0.19 ^{cd}	3.72±0.25 ^{cd}	3.44±0.18 ^{cd}	4.7±0.26 ^a	3.92±0.31 ^{bc}	3.72±0.51 ^{cd}	3.38±0.04 ^d

2.2 对异育银鲫抗氧化能力的影响

由表3可知:1)血清总抗氧化能力(T-AOC),与S组结果比较,SC1和SC2组T-AOC上升,其中SC2组差异显著(P<0.05),SC3组T-AOC下降(P>0.05);O组上升(P>0.05);与O组比较,OC1组T-AOC上升,OC2和OC3组下降(P>0.05)。2)总超氧化物歧化酶(T-SOD),与S组结果比较,SC1、SC2、SC3的T-SOD均上升(P<0.05);O组上升(P>0.05);与O组结果比较,OC1、OC2、OC3组T-SOD上升,其中,OC1和OC3差异显著(P<0.05)。3)血清过氧化氢酶(CAT),与S组结果比较,SC1、SC2、SC3的CAT均上升(P<0.05);O组下降(P<0.05);与O组结果比较,OC1、OC2、OC3组CAT均上升(P<0.05)。4)血清丙二醛(MDA),与S组结果比较,SC1组下降,SC2、SC3组上升(P>0.05);O组上升(P<0.05);与O组结果比较,

OC1、OC2、OC3组MDA均下降(P<0.05)。

结果显示,饲料氧化豆油使异育银鲫抗氧化系统遭到损伤;1%~3%YC替代等质量的鱼粉提高了异育银鲫抗氧化能力;在氧化豆油日粮中,YC使异育银鲫抗氧化系统恢复正常。

2.3 对异育银鲫机体免疫能力的影响

由表4可知:1)血液淋巴细胞含量,与S组结果比较,SC1、SC2、SC3组的血液淋巴细胞含量无差异;O组与S组结果比较上升420.03%(P<0.05);与O组结果比较,OC1、OC2、OC3组的血液淋巴细胞均下降(P<0.05);2)血液嗜中性粒细胞,SC1、SC2、SC3组与S组结果比较无差异;O组与S组结果比较上升了289.93%(P<0.05);与O组结果比较,OC1、OC2、OC3组均下降(P<0.05)。3)血液单核细胞含量,SC1、SC2、SC3组与S组结果比较均下降(P<0.05);O组与S组结果比较上升61.98%

($P < 0.05$);与 O 组结果比较,OC1、OC2、OC3 组均下降($P < 0.05$)。4)血清溶菌酶,SC1、SC2、SC3 组与 S 组结果比较均下降($P < 0.05$);O 组与 S 组结果比较上升($P > 0.05$);与 O 组结果比较,OC1、OC2、OC3 组均下降($P < 0.05$)。

结果显示:饲料氧化豆油激发了异育银鲫的免疫系统;酵母培养物代替饲料中等质量鱼粉没有对异育银鲫免疫系统造成负面影响;酵母培养物可以使异育银鲫因饲料氧化豆油引起的机体免疫系统应激得到缓解。

2.4 对异育银鲫肝脏转氨酶的影响

由图 1 可知:①血清天门冬氨酸氨基转移酶(AST),SC1、SC2、SC3 组 AST 与 S 组结果比较均上升,其中 SC2、SC3 组差异显著($P < 0.05$);O 组与 S 组结果比较上升 15.21%($P < 0.05$);与 O 组结果比较,OC1、OC2、OC3 组 AST 均下降,其中 OC2、OC3 组差异显著($P < 0.05$)。

由肝脏切片结果(图 2)可知:豆油 S 组肝细胞排列整齐,细胞界限明显“→”,细胞核位于细胞中间位置“↑”;添加 YC 后,SC1、SC2、SC3 组与 S 组差异不显著;O 组肝细胞排列无序,细胞界线不明显,细胞结构受损“→”,细胞核发生聚集“↘”“↙”;与 O 组结果比较,添加 YC 后,OC1、OC2、OC3 组肝细胞排列整齐,细胞界限明显“→”,细胞核位于细胞中间位置“↑”。

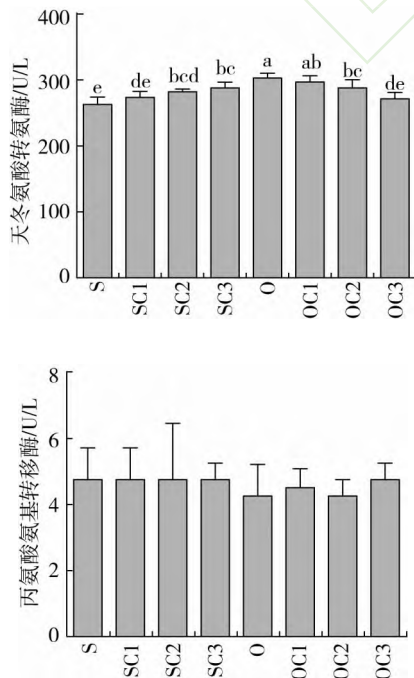


图 1 酵母培养物对异育银鲫肝脏转氨酶的影响

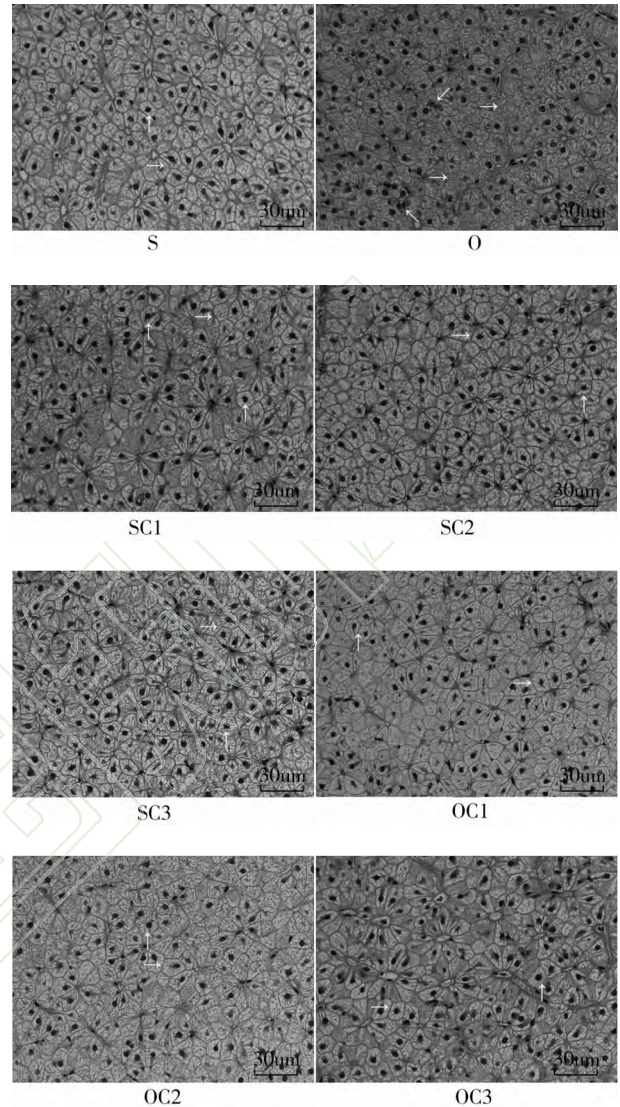


图 2 酵母培养物对异育银鲫肝脏组织结构的影响

注:异育银鲫养殖 65d 后,取肝脏做组织切片,进行光学显微镜观察,400 倍(图版 I)。发现 S 组肝细胞排列整齐,细胞界限明显“→”,细胞核位于细胞中间位置“↑”;添加 YC 后,SC1、SC2 以及 SC3 组与 S 组差异不显著;O 组肝细胞排列无序,细胞界线不明显,细胞结构受损“→”,细胞核发生聚集“↘”“↙”;与 O 组结果比较,添加 YC 后,OC1、OC2 以及 OC3 组肝细胞排列整齐,细胞界限明显“→”,细胞核位于细胞中间位置“↑”,YC 对氧化豆油引起的肝细胞损伤有很好修复效果。

结果显示:饲料氧化豆油可能引起了异育银鲫肝脏炎症;YC 代替等质量鱼粉后,异育银鲫的 AST 有少许程度的上升,可能是因为机体肝脏出现轻微炎症;在氧化豆油日粮中,YC 代替等质量鱼粉后,可以修复饲料氧化油脂对机体肝脏的损伤。

2.5 对异育银鲫血清二胺氧化酶的影响

由图 3 可知:血清二胺氧化酶活力(DOA),与 S 组结果比较,SC3 组下降($P > 0.05$);O 组上升($P < 0.05$);与 O 组结果比较,OC1、OC2、OC3 组均

下降,其中 OC2、OC3 组差异显著($P < 0.05$)。

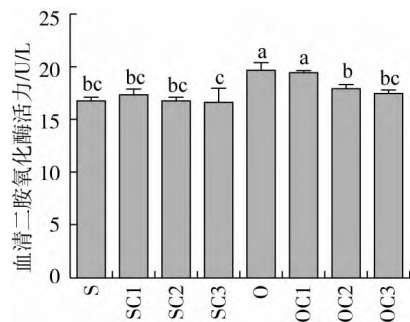


图3 酵母培养物对异育银鲫血清二胺氧化酶的影响

各组肠道黏膜下层厚度和皱襞间质的量化数据见图4,结合肠道切片结果(图5):①黏膜下层厚度,与S组比较,SC2、SC3组上升,其中SC2组差异显著($P < 0.05$);O组较S组下降($P > 0.05$);OC1、OC3组较O组均上升($P > 0.05$)。②SC2、SC3组的皱襞间质与S组比较均下降($P > 0.05$);O组与S组结果比较上升了100.86% ($P < 0.05$),OC1、OC2、OC3组与O组结果比较均下降($P < 0.05$)。

结果显示:饲料氧化豆油使异育银鲫肠道组织结构受损;1%~3%YC代替等质量鱼粉后,在一定程度上可以改善异育银鲫的肠道结构;在氧化豆油日粮中,在1%~3%YC代替等质量鱼粉后,可以修复由饲料氧化豆油引起的异育银鲫肠道炎症与损伤。

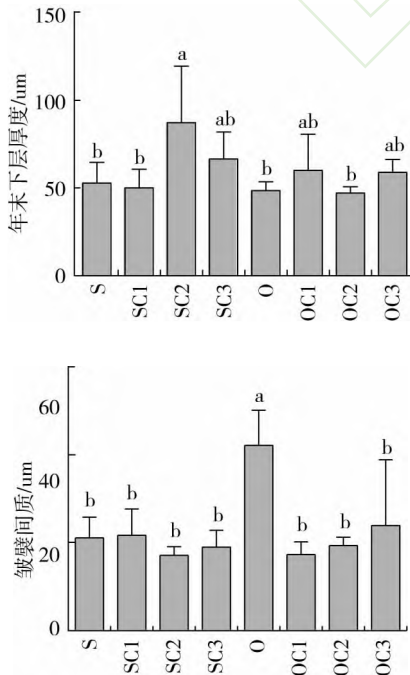


图4 酵母培养物对异育银鲫中肠组织结构的影响

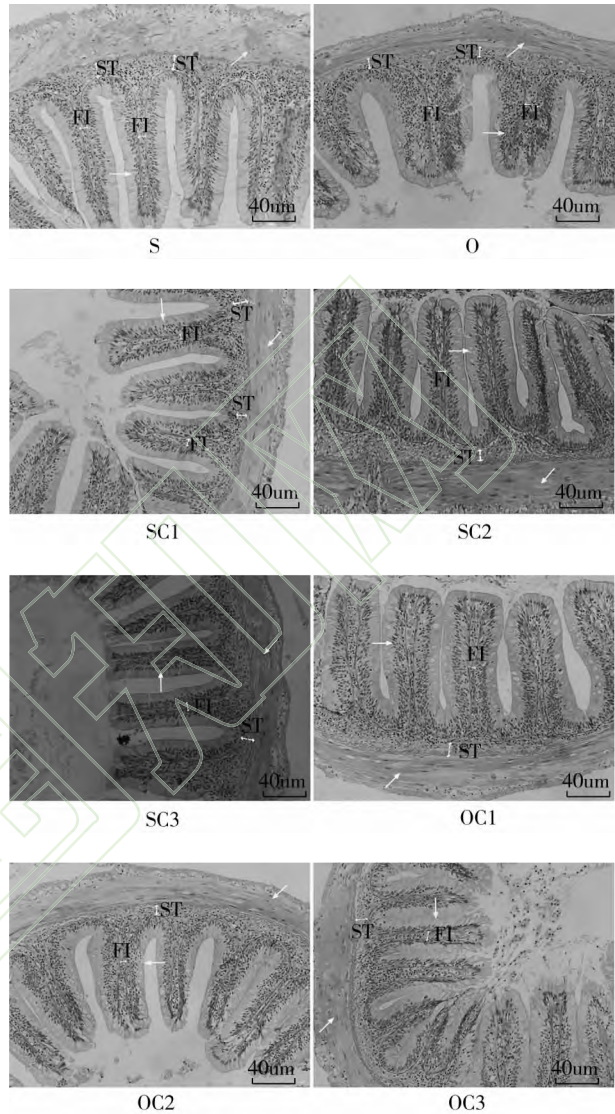


图5 酵母培养物对异育银鲫中肠组织结构的影响

注:异育银鲫养殖65d后,取中肠做组织切片,进行光学显微镜观察,200倍(图版:II)。与S组中肠组织切片结果比较,O组肠绒毛短而粗“→”,绒毛间距大,肠壁变薄“↘”,黏膜下层厚度差异不显著,但皱襞间质增大,差异显著(“ST”表示“黏膜下层厚度”,“FI”表示“皱襞间质”)。与S组结果比较,添加YC后,SC1、SC2以及SC3组的绒毛长度、绒毛排列稀疏程度、肠壁厚度以及皱襞间质差异均不显著,SC2组的肠道黏膜下层厚度差异显著;与O组结果比较,添加YC后,OC1、OC2以及OC3组中肠绒毛长度增长且变细,绒毛排列紧密,肠壁增厚,皱襞间质显著降低,OC1以及OC3组黏膜下层厚度增大,差异显著($P < 0.05$),OC2组与O组差异不显著。

表5 酵母培养物对异育银鲫攻毒后累积死亡率和攻毒保护率的影响

项目	组别							
	S	SC1	SC2	SC3	O	OC1	OC2	OC3
攻毒剂量/ mL/尾	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
攻毒尾数/尾	12	12	12	12	12	12	12	12
平均累积死 亡数/尾	6	3.67	2.33	3	7.33	5.33	3.67	2.67
平均累积死 亡率/%	50.00	30.56	19.44	25.00	61.11	44.44	30.56	22.22
攻毒保护率/%	0	38.89 ^S	61.11 ^S	50.00 ^S	0	11.11 ^O	38.89 ^O	55.56 ^O

注:“S”和“O”表示该攻毒保护率分别以S组和O组为基准。

2.6 对异育银鲫累积死亡率和攻毒保护率的影响

各试验组累积死亡率和攻毒保护率统计见表5。与S组结果比较,SC1、SC2、SC3组累积死亡率降低,攻毒保护率分别为38.89%、61.11%、50%;与O组结果比较,OC1、OC2、OC3组相对死亡率降低,攻毒保护率分别为11.11%、38.89%、55.56%。结果显示:酵母培养物体现了较好的CYHV-2病毒免疫保护作用。

3 讨论

本试验条件下,酵母培养物替代等质量鱼粉后,异育银鲫的生长性能与全鱼粉组无显著差异,表明在含有12%鱼粉的异育银鲫饲料中,用酵母培养物等质量替代1%~3%鱼粉具有一定的可行性;饲料氧化油脂显著影响了异育银鲫的生长性能;在氧化油脂组中以酵母培养物替代等质量鱼粉后,异育银鲫生长性能得到改善。

肠道是鲤科鱼类消化吸收利用营养物质的主要场所,异育银鲫肠道形态结构的健康可以在一定程度维护其生长性能。DOA是肠道黏膜上层绒毛细胞中具有高度活性的细胞内酶,当肠道细胞受损,细胞膜通透性发生变化时就会大量释放到血液中,引起DOA增高^[13]。饲料中油脂氧化对水产动物的生长性能以及肠道健康造成损害;饲料氧化豆油使异育银鲫肠道黏膜结构损伤。本试验结果显示:酵母培养物在一定程度上改善了异育银鲫的肠道形态结构。饲料中的氧化油脂会导致适口性下降,降低摄食量^[14],氧化油脂所含有的初级和次级氧化产物,如过氧化物、丙二醛等能打破机体自由基代谢平衡,使自由基异常增加,破坏抗氧化酶活性,导致鱼类产生氧化应激损伤^[15],氧化油脂会导致胃肠无食物,出现积水^[16],肠道紧密连接结构打开,肠道通透性变大^[17]。在氧化豆油日粮中,1%~3%YC代替等质量鱼粉后,修复了由饲料氧化豆油引起的异育银鲫肠道形态结构损伤。此结果可能由于酵母培养物为肠道微生物提供丰富的营养物质,酵母菌从培养基中吸收营养物质转化为自身所需的初级代谢产物,包括小肽、氨基酸、络合微量元素、维生素等,以及酵母细胞生长产生的次级代谢产物,如有机酸、核苷酸、低聚糖等物质,可以促进水产动物肠道微生物生长,增加有益菌数量,调节肠道菌群种类和数量平衡,改善肠道形态结构和功能的完整性,从而提高水产动物的生产性能。

鱼类是较低等的脊椎动物,非特异性免疫是鱼类主要的免疫系统。T-SOD与动物的免疫水平密切相关,能够催化氧自由基对分子氧和过氧化氢的歧化反应,并且增强吞噬细胞防御能力,它是机体抗氧化防御系统的重要组成部分^[18]。本试验中各试验组T-SOD活力与对照组比较均上升。酵母培养物能够提高异育银鲫T-SOD活性与其含有丰富 β -葡聚糖和甘露寡糖密切相关,其中 β -葡聚糖能够增强血细胞SOD活性,提高抗氧化能力,甘露寡糖本身具有一定的免疫原性,能够刺激机体的免疫应答,增强SOD活性,提高其非特异性免疫力^[19-22]。LZM是一种水解N-乙酰胞壁酸和N-乙酰葡萄糖胺酶,它是生物体内重要的非特异性免疫因子之一^[23]。本试验中各试验组LZM与对照组结果比较均下降。LZM可清除抗菌因子作用后所残余的细菌细胞壁,增强其他免疫因子的抗菌敏感性,协同其他免疫因子共同抵制外来病原的入侵,LZM活力提高,其免疫能力也相应提高^[24]。MDA作为有毒有害的脂质过氧化产物,其含量升高表明氧自由基产生过多,氧自由基具有很强的氧化性,造成脂质过氧化,导致细胞膜流动性降低^[25]。本试验中各试验组MDA含量均有不同程度下降。结果表明酵母培养物可以降低异育银鲫MDA的含量,并且能够缓解由饲料氧化油脂造成异育银鲫MDA的上升。

肝脏是动物机体在物质能量代谢过程中具有重要而特殊功能的脏器。AST存在于肝细胞线粒体内,肝细胞严重受损时AST就会进入血液中^[26],因此血清AST常作为判断肝脏损伤的敏感指标。本试验结果显示:正对照各试验组AST较S组上升,但差异不显著;结果提示酵母培养物替代饲料中等质量鱼粉后可能导致AST少许程度上升;但从异育银鲫肝脏组织切片结果来看,SC1、SC2、SC3组与S组无显著性差异。已有研究表明,饲料添加适量酵母培养物可以有效改善机体肝脏结构^[27,28],这与本试验结果不同,这可能与酵母培养物的添加量有关。O组与S组结果比较AST上升,O组切片肝细胞排列无序,细胞界线不明显,细胞结构受损,细胞核发生聚集,表明氧化油脂造成异育银鲫肝脏结构损伤。与O组结果比较,各负对照试验组AST下降,肝脏结构有所恢复,切片肝细胞排列较整齐,细胞界限明显,细胞核也位于细胞中间位置,表明本试验条件下酵母培养物修复了氧化油脂造成的机体肝脏损伤,这与肠道结果相似。

酵母培养物对水产动物抗病力也有一定的改善

作用^[9, 10, 29]。本试验结果表明酵母培养物体现了较好的 CyHV-2 病毒免疫保护作用。酵母培养物是如何对 CyHV-2 病毒起到免疫保护作用的呢? 原因可能是酵母培养物提高了异育银鲫的抗氧化能力和免疫能力。CyHV-2 病毒从多种途径对异育银鲫产生负面作用。首先, CyHV-2 病毒感染的异育银鲫血清总抗氧化能力显著降低, 丙二醛与总抗氧化能力的比值升高, 使机体抗氧化系统遭到破坏^[30]; 其次 CyHV-2 病毒感染后, 对异育银鲫免疫组织器官结构, 免疫细胞数量和活力均有显著影响^[5, 31, 32]。本试验所用酵母培养物含有丰富的 β -葡聚糖和甘露寡糖, 可以维护异育银鲫的抗氧化系统和免疫系统^[19, 22], 这可能是提高异育银鲫抗 CyHV-2 病毒的主要原因。

4 结论

饲料氧化豆油使异育银鲫机体抗氧化系统、免疫系统处于应激状态, 肝脏和肠道结构受损; 饲料 YC 提升了异育银鲫免疫防御能力、抗氧化损伤的能力; 综合表现为饲料 YC 修复了由氧化豆油引起的负面作用, 对 CYHV-2 病毒攻毒保护具有较好的效果。综上所述, 1%~3% YC 替代等质量鱼粉具有一定可行性。

参考文献

- [1] 徐文斌, 孙晓波. 异育银鲫的生物学特性及其在我省的增养殖前景[J]. 黑龙江水产, 1993(2): 38-39
XU W B, SUN X B. Biological characteristics of gibel carp and its prospects for aquaculture in our province [J]. Heilongjiang Fisheries, 1993(2): 38-39
- [2] 任泽林, 霍启光. 氧化油脂对动物机体的影响[J]. 动物营养学报, 2000, 12(3): 1-13
REN Z L, HUO Q G. Effects of oxidized oils and fats on animal organisms [J]. Journal of Animal Nutrition, 2000, 12(3): 1-13
- [3] 陈拥军, 林仕梅, 罗莉, 等. 饲料油脂氧化对养殖鱼类生长及健康的危害[J]. 水生生物学报, 2016, 40(3): 624-633
CHEN Y J, LIN S M, LUO L, et al. Hazard of feed oil oxidation on growth and health of farmed fish [J]. Journal of Hydrobiology, 2016, 40(3): 624-633
- [4] 孟思好, 孟长明, 陈昌福. 苏北地区养殖银鲫出血病流行病学调查与防治措施(二)[J]. 科学养鱼, 2013(7): 85-114
MENG S Y, MENG C M, CHEN C F. Epidemiological investigation and control measures of cultured silver carp hemorrhage in northern Jiangsu Province (II) [J]. Scientific fish farming, 2013(7): 85-114
- [5] WU T, DING Z, REN M, et al. The histo- and ultra-pathological studies on a fatal disease of Prussian carp (*Carassius gibelio*) in mainland China associated with cyprinid herpesvirus 2 (CyHV-2) [J]. Aquaculture, 2013, 412-413(6): 8-13
- [6] 李高峰, 叶元土, 林炳贤, 等. 酵母培养物对团头鲂生长的影响[J]. 饲料工业, 2009, 30(22): 17-22
LI G F, YE Y T, LIN B X, et al. Effect of Yeast Culture on the Growth of Head lice [J]. Feed Industry, 2009, 30(22): 17-22
- [7] 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, non-specific immunity and disease resistance of *Penaeus vannamei* [J]. Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(12): 4063-4072
- [8] 温俊. 复合益生菌与酵母培养物对牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 生长、免疫及抗病力的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007
WEN J. Effects of compound probiotics and yeast cultures on growth, immunity and disease resistance of gingivalis (*Paralichthys olivaceus*) [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2007
- [9] BURGENTS JE, BURNETT KG, BURNETT LE. Disease resistance of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, following the dietary administration of a yeast culture food supplement [J]. Aquaculture, 2004, 231(1): 1-8
- [10] YU HH, HAN F, XUE M, et al. Efficacy and tolerance of yeast cell wall as an immunostimulant in the diet of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) [J]. Aquaculture, 2014, 432(1): 217-224
- [11] 姚仕彬, 叶元土, 蔡春芳, 等. 酵母培养物水溶物对离体草鱼肠道黏膜细胞生长及细胞膜完整性的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(11): 3478-3484
YAO S B, YE Y T, CAI C F, et al. Effects of water-soluble yeast cultures on intestinal mucosal cell growth and cell membrane integrity in isolated grass carp [J]. Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(11): 3478-3484
- [12] 李永娟, 张含乐, 周文豪. 酵母培养物(百惠康)替代鱼粉对草鱼生长性能和抗病力的影响[J]. 广东畜牧兽医科技, 2017, 42(6): 40-43
LI Y J, ZHANG H L, ZHOU W H. Effect of Yeast Culture (Baihuikang) on Fish Growth Performance and Disease Resistance of Grass Carp [J]. Journal of Guangdong Animal

- Husbandry and Veterinary Medicine, 2017, 42(6): 40–43
- [13] BOUNOUS G, ., ECHAVE V, ., VOBECKY SJ, et al. Acute necrosis of the intestinal mucosa with high serum levels of diamine oxidase[J]. Digestive Diseases & Sciences, 1984, 29(9): 872–884
- [14] 杨保和, 袁明凤, 唐精. 氧化油脂对水产动物的危害[J]. 饲料博览, 2013(4): 35–39
YANG B H, YUAN M F, TANG J. The harm of oxidized oil to aquatic animals[J]. Feed Expo, 2013(4): 35–39
- [15] GAO J, KOSHIO S, ISHIKAWA M, et al. Effect of dietary oxidized fish oil and vitamin C supplementation on growth performance and reduction of oxidative stress in Red Sea Bream *Pagrus major* [J]. Aquaculture Nutrition, 2013, 19(1): 35–44
- [16] ŘEHULKA J. Effect of hydrolytically changed and oxidized fat in dry pellets on the health of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Richardson) [J]. Aquaculture Research, 2010, 21(4): 419–434
- [17] 叶元土, 蔡春芳, 吴萍, 等. 饲料氧化鱼油引起草鱼肠道结构损伤、通透性增加[J]. 水生生物学报, 2016, 40(4): 804–813
YE Y T, CAI C F, WU P, et al. Feeding oxidized fish oil causes damage and permeability of grass carp intestines[J]. Journal of Hydrobiology, 2016, 40(4): 804–813
- [18] YANG S P, WU ZH, JIANJC, et al. Effect of marine red yeast *Rhodospiridium paludigenum* on growth and antioxidant competence of *Litopenaeus vannamei* [J]. Aquaculture, 2010, 309(1): 62–75
- [19] JENSEN GS, PATTERSON KM, YOON I. Yeast culture has anti-inflammatory effects and specifically activates NK cells[J]. Comparative Immunology Microbiology & Infectious Diseases, 2008, 31(6): 487–500
- [20] MOURAO JL, PINHEIOR V, ALVES A, et al. Effect of mannan oligosaccharides on the performance, intestinal morphology and cecal fermentation of fattening rabbits[J]. Animal Feed Science & Technology, 2006, 126(1): 107–120
- [21] MUSSATTO SI, MANCIHA IM. Non-digestible oligosaccharides: A review [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 68(3): 587–597
- [22] CAMPA – CORDOVA AI, HERNANDEZ – S NY, PHILIPIS R, D, et al. Generation of superoxide anion and SOD activity in haemocytes and muscle of American white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as a response to beta-glucan and sulphated polysaccharide [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2002, 12(4): 353–366
- [23] ELLISE AE. Immunity to bacteria in fish [J]. Fish Shellfish Immunol, 1999, 9(4): 291–308
- [24] 郑清梅, 吴锐全, 叶星. 水生动物溶菌酶的研究进展[J]. 上海海洋大学学报, 2006, 15(4): 483–487
ZHENG Q M, WU R Q, YE X. Research Progress of Lysozyme in Aquatic Animals [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2006, 15(4): 483–487
- [25] SARGIS RM, SUBBAIAH PV. Protection of membrane cholesterol by sphingomyelin against free radical-mediated oxidation [J]. Free Radical Biology & Medicine, 2006, 40(12): 2092–2102
- [26] 滕廷波, 王群兴. 53例晚期肝硬化患者部分生化项目检测结果分析[J]. 骨科, 2009, 33(2): 94–95
TENG Y B, WANG Q X. Analysis of detection results of some biochemical items in 53 patients with advanced cirrhosis [J]. Orthopaedics, 2009, 33(2): 94–95
- [27] 刘立鹤, 张恒, 聂伟, 等. 草鱼配合饲料添加酵母培养物对草鱼生长性能、肝肠功能的影响[J]. 武汉轻工大学学报, 2014, 33(1): 34–39
LIU L H, ZHANG H, NIE W, et al. Effects of yeast culture supplemented with grass carp on growth performance and liver function of grass carp [J]. Journal of Wuhan University of Light Industry, 2014, 33(1): 34–39
- [28] 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)对大菱鲆生长、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 a yeast culture (Yikang XP) on the growth, histological structure and intestinal flora of turbot in different soybean meal levels [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008
- [29] 张琴. 刺参 (*Apostichopus japonicus* Selenka) 高效免疫增强剂的筛选与应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010
ZHANG Q. Screening and application of high-efficiency immunopotentiator of *Apostichopus japonicus* Selenka [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010
- [30] 袁军法, 李莉娟, 黄建, 等. II型鲤疱疹病毒感染异育银鲫对鱼体血液中氧化应激指标的影响[C]. 中国水产学会鱼病专业委员会学术研讨会, 2013
YUAN J F, LI L J, HUANG J, et al. Effect of type II herpes simplex virus infection on the oxidative stress index in fish blood [C]. Chinese Academy of Fisheries Fish Disease Professional Committee Symposium, 2013
- [31] 林秀秀, 叶元土, 吴萍, 等. 鲤疱疹II型病毒 (CyHV-2) 感染对异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio*) 组织器官的损伤作用[J]. 基因组学与应用生物学, 2016(3): 587–594
LIN X X, YE Y T, WU P, et al. Injury effect of herpes simplex virus type 2 (CyHV-2) infection on tissues and organs of *Carassius auratus gibelio* [J]. Genomics and Applied Biology, 2016(3): 587–594
- [32] JIANG N, JIN X JIE M, et al. Histopathology and Ultra-

Diet Yeast Culture Improves the Ability to Anti – Oxidation, Immunity and Protection Against CyHV – 2 Virus of the Gibel Carp

Sun Fei¹ Lü Hao¹ Yu Nong¹ Ye Yuantu¹ Cai Chunfang¹

Wu Ping¹ Shi Yaoyao¹ Zhou Wenhao² Li Yongjuan²

(School of Biology & Basic Medical Sciences, Soochow University¹, Suzhou 215123)

(Beijing Enhalar Institute of Biotechnology², Beijing 100081)

Abstract: In order to study the effect of the growth performance and physiological health on gibelcarp (*Carassius auratus gibelio*) by replacing fish meal with equal quality yeast culture (YC) in feed. In this study, 0%, 1%, 2% and 3% YC were used to replace fish meal of the same quality in the basic feed containing soybean oil (positive control) or oxidized soybean oil (negative control), recorded as S, SC1, SC2, SC3, O, OC1, OC2, OC3, respectively. The diets were fed quadruplicate groups of gibel carp [initial body weight (7.08 ± 0.01) g] for 65 days in outdoor farming system. After the breeding experiment, each group fish was challenged by injecting visceral tissue fluid which obtained from the gibel carp with CyHV-2 virus. The results showed that: Compared with group S, the SGR and FCR of group SC1, SC2, SC3 had no significant difference ($P > 0.05$). Compared with group S, the SGR of group O fell by 6.53% ($P < 0.05$), the FCR of group O increased by 16.27% ($P < 0.05$). Compared with group O, the SGR of group OC1, OC2, OC3 both increased ($P < 0.05$), and the FCR of group OC1, OC2, OC3 both decreased ($P < 0.05$). The blood cells and serum indicators of each group changed to some extent. Attack test results showed that: Compared with group S, the cumulative deaths of group SC1, SC2, SC3 reduced. Compared with group O, the cumulative deaths of group OC1, OC2, OC3 reduced, too. The results of this test indicated that, ① In the case of basal diets containing 12% fishmeal, it was feasible to replace the same quality fishmeal with 1% ~ 3% YC. ② Oxidized soybean oil caused oxidative damage. ③ In diets containing oxidized soybean oil, adding YC could repair the damage to a certain extent. ④ Under the conditions of this test, diet YC could enhance the immune defense ability and anti-oxidative damage ability of gibel carp, which reflected in having a good effect on the protection of CyHV-2 virus.

Key words gibel carp, yeast culture, growth rate, feed efficiency, oxidative damage, oxidized fat, CyHV-2