

饲料中小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼繁殖性能的影响

李亚宁 陈敏 刘洋 韩磊 何焱 樊启学 沈志刚

WHEAT GERM SUPPLEMENT ON REPRODUCTIVE PERFORMANCE OF FEMALE BROODSTOCK IN YELLOW CATFISH

LI Ya-Ning, CHEN Min, LIU Yang, HAN Lei, HE Yan, FAN Qi-Xue, SHEN Zhi-Gang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2023.2023.0024>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

饲料中添加谷胱甘肽对黄颡鱼幼鱼组织谷胱甘肽含量、免疫及抗氧化性能的影响

EFFECTS OF DIETARY SUPPLEMENTATION WITH GLUTATHIONE ON TISSUE GSH LEVEL, IMMUNITY, AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF JUVENILE YELLOW CATFISH (*PELTEOBAGRUS FULVIDRACO*)

水生生物学报. 2018, 42(4): 728–735 <https://doi.org/10.7541/2018.089>

黄颡鱼母本的肠系膜脂肪沉积对繁育性能的影响

THE EFFECT OF MESENTERIC FAT DEPOSITION ON REPRODUCTION PERFORMANCE OF FEMALE PARENT FISH (*PELTEOBAGRUS FULVIDRACO*)

水生生物学报. 2021, 45(6): 1181–1189 <https://doi.org/10.7541/2021.2020.222>

黑水虻虫油替代豆油对黄颡鱼幼鱼生长、血清生化指标和肝脏脂滴面积的影响

EFFECTS OF DIETARY SOYBEAN OIL REPLACED WITH BLACK SOLDIER FLY LARVAE OIL ON GROWTH PERFORMANCE, PLASMA BIOCHEMICAL INDEXES AND LIVER LIPID DROPLETS OF JUVENILE YELLOW CATFISH

水生生物学报. 2020, 44(4): 717–727 <https://doi.org/10.7541/2020.086>

不同链长脂肪酸对斑马鱼的性腺脂肪酸组成、繁殖力与仔鱼成活率的影响

INFLUENCE OF FATTY ACIDS WITH DIFFERENT CHAIN LENGTH ON FATTY ACID COMPOSITION OF OVARIES, FECUNDITY AND SURVIVAL RATE OF LARVAE IN ZEBRAFISH (*DANIO RERIO*)

水生生物学报. 2017, 41(4): 766–773 <https://doi.org/10.7541/2017.95>

不同饲料原料对黄颡鱼表观消化率及消化酶活性的影响

APPARENT DIGESTIBILITY COEFFICIENTS OF SEVERAL FEED INGREDIENTS AND THEIR EFFECT ON DIGESTIVE ENZYME ACTIVITIES OF JUVENILE YELLOW CATFISH (*PELTEOBAGRUS FULVIDRACO*)

水生生物学报. 2020, 44(2): 357–363 <https://doi.org/10.7541/2020.043>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2023.2023.0024

饲料中小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼繁殖性能的影响

李亚宁¹ 陈敏¹ 刘洋¹ 韩磊^{1,2} 何焱¹ 樊启学^{1,2} 沈志刚¹

(1. 华中农业大学水产学院, 农业农村部淡水生物繁育重点实验室, 教育部长江经济带大宗水生生物产业绿色发展工程研究中心, 池塘健康养殖湖北省工程实验室, 武汉 430070; 2. 湖北黄优源渔业发展有限公司, 武汉 430299)

摘要: 为探讨小麦胚芽作为黄颡鱼(*Tachysurus fulvidraco*)雌性亲鱼培育饲料原料的可行性, 研究以黄颡鱼雌性亲鱼(825尾)为实验对象, 通过投喂不同小麦胚芽添加量 0、5%、10%、15%和20% (w/w)饲料的养殖实验, 比较研究了黄颡鱼雌性亲鱼的肝脏抗氧化能力、血浆生理生化指标、成活率和繁殖性能等。结果显示, 小麦胚芽能显著提高黄颡鱼雌性亲鱼肝脏抗氧化酶活性($P<0.05$), 小麦胚芽添加量为10%时的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和总抗氧化能力(T-AOC)活性最高, 丙二醛含量(MDA)最低, 多项式曲线方程显示添加量在11.57%—14.0%抗氧化性能最强。当小麦胚芽添加量达到10%时, 对血浆葡萄糖(GLU)含量没有影响($P>0.05$), 高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)含量显著升高($P<0.05$), 低/高密度脂蛋白胆固醇含量比值(LDL-C/HDL-C)显著下降($P<0.05$), 利于血脂的健康代谢。因此, 经添加小麦胚芽的饲料进行产前和产后培育, 小麦胚芽组能显著提高黄颡鱼雌性亲鱼的成活率($P<0.05$), 绝对繁殖力和相对体重繁殖力与对照W0组相比有所提升($P>0.05$); 产后培育阶段, 小麦胚芽添加组W5、W10和W15畸形率显著低于对照组($P<0.05$), 孵化率也略高于对照组($P>0.05$)。综上, 小麦胚芽能够作为黄颡鱼雌性亲鱼的饲料原料, 建议产前培育添加量为饲料质量的10%—15%, 产后再培育添加量为饲料质量的5%—10%, 能有效改善体质, 提高雌性亲鱼重复使用率。

关键词: 小麦胚芽; 雌性亲鱼; 繁殖力; 成活率; 抗氧化性能; 生理生化指标; 黄颡鱼

中图分类号: S965.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2024)02-0264-11



水产养殖业健康可持续发展最关键的前提是充足稳定的苗种供应, 而苗种的数量和质量首先取决于具有优良品质、性腺发育良好的亲鱼。黄颡鱼(*Tachysurus fulvidraco*)是一种中小型、杂食性的经济鱼类, 主要在我国内陆水体中的底层生活。因其肉质细腻爽口、无肌间刺和营养丰富等优点, 已成为我国最重要的特色淡水鱼类之一^[1,2]。养殖覆盖全国28个省份, 有全民消费趋势。中国渔业统计年鉴显示, 黄颡鱼年产量从2011的21.7万吨增长到2021年58.8万吨^[3], 产业的高速发展得益于人工繁殖技术的突破及养殖技术的成熟, 更因为性状优良的新品种“全雄1号”和杂交黄颡鱼“黄优1号”(黄颡鱼*T. fulvidraco*♀×瓦氏黄颡鱼*T. vachelli*♂)的成功推广。由于雌性黄颡鱼生长速度显著小于雄性或杂交种^[4], 经济效益低, 养殖户更倾向于选择饲养

全雄或者杂交黄颡鱼。当前杂交黄颡鱼“黄优1号”的成功推广, 推动了全国杂交黄颡鱼养殖的全面普及, 但同时导致雌性亲鱼养殖量的大幅度缩减。此外, 黄颡鱼人工繁殖过程中密集的人工操作不可避免地给亲鱼带来损伤, 引起应激及细菌病毒感染^[5], 导致雌性亲鱼产后死亡率较高, 一般达30%以上^[6], 加剧了雌性亲鱼数量缺乏的现状。更为重要的是, 雌性亲鱼的损失将严重影响黄颡鱼新品种选育进程和效果^[6]。因此, 提高亲鱼培育存活率, 提高繁殖效率, 对黄颡鱼产业可持续发展具有重大意义。

小麦胚芽是麦粒最里面的器官, 占据整个麦粒的2.5%左右^[7], 通常作为面粉工业中的副产物, 其含有约27%—30%蛋白质, 10%油脂, 47%碳水化合物, 及多种生物活性物质, 如谷胱甘肽、凝集素、黄酮类化合物和植物甾醇等^[7,8], 还富含丰富的

收稿日期: 2023-01-16; 修订日期: 2023-05-09

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32273122)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (32273122)]

作者简介: 李亚宁(1996—), 女, 硕士研究生; 研究方向为鱼类遗传育种。E-mail: 954827979@qq.com

通信作者: 沈志刚, 副教授; 研究方向为鱼类遗传育种与繁育。E-mail: zgshen2017@mail.hzau.edu.cn

钙、钾、镁和铁等多种矿物质和微量元素,具有预防癌症、提高抗氧化及免疫性能、有益生殖系统等功效^[8-10]。我国小麦产量居全球第一,国家统计局数据显示2022年小麦产量1.38亿吨,较2021年增长0.6%。据相关数据表明,1000 kg小麦约提取1.1 kg小麦胚芽^[11],其来源稳定、产量充足。近年来,在雄兔^[12]、公猪^[13]和南美按实蝇(*Wiedemann*)^[14]中的研究表明,小麦胚芽可提高动物生殖性能。在水产领域,朱伟等^[15]证明当小麦胚芽替代日本对虾(*Penaeus japonicus*)饲料中5%—10%鱼粉时能显著提高对虾增重率;在欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[16]的饲料中添加155 g/kg小麦胚芽可以显著提高饲料利用率,降低成本。也有研究半滑舌鳎(*Cynolossus semilaevis*)^[17]、杂交石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*♀×*Epinephelus lanceolatus*♂)^[18]等水产动物上探究小麦胚芽作为饲料原料的可行性,但目前的研究多集中在幼鱼阶段,在鱼类亲鱼培育及其对繁殖性能影响方面的研究较少,仅见于几项专利的报道中,存在巨大空白。

鉴于小麦胚芽营养丰富且具有强大的生理功能,本研究在黄颡鱼亲鱼饲料中添加适宜含量的小麦胚芽,分析其对雌性亲鱼肝脏抗氧化性能、血浆生理生化、产前和产后成活率、形体指数及繁殖性能的影响,探究其作为雌性亲鱼饲料原料的可行性,为建立科学的雌性亲鱼营养培育模式,进一步提高全雌黄颡鱼配套系的繁殖性能提供良好的理论基础和科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

实验以添加0%、5%、10%、15%和20%(w/w)的小麦胚芽设计5个实验组,分别设为W0、W5、W10、W15和W20的等氮等脂饲料,W0为对照组,其余为处理组。饲料配方及实测营养组成如表1所示。小麦胚芽购于湖北小笨鱼农业发展有限公司。饲料由湖北小笨鱼农业发展有限公司制作成颗粒料烘干、冷藏于4℃备用。

1.2 实验对象与饲养管理

养殖实验在湖北黄优源渔业发展有限公司室外池塘(面积约2000 m²、水深约1.5—2.0 m)进行。正式实验前,将实验鱼在网箱(5 m×5 m×2.8 m)中用W0组饲料暂养1周。

黄颡鱼是分批产卵鱼类,每年首次产卵后,经过一段时间培育,可进行二次甚至多次产卵^[19]。华中地区在实际养殖生产过程中,黄颡鱼雌性亲鱼经过春季营养培育7周左右,产后再培育4周左右便可

达到人工催产的阶段。因此,投喂实验分两个阶段,即产前培育阶段和产后再培育阶段。产前培育黄颡鱼雌性亲鱼实验从4月17日至6月5日,养殖培育持续49d。实验鱼来自公司杂交黄颡鱼“黄优1号”雌性亲本的同一亲鱼培育池。实验开始前1天对实验鱼饥饿24h,挑选体格健壮、规格均匀的个体825尾(79.8±1.4)g,随机放入5个组15个网箱内(1.7 m×1.7 m×2.8 m),每组3个平行,每个平行55尾。每天于17:20—18:40表观饱食投喂1次(体质量的0.2%—

表1 饲料配方及营养水平(风干基础)

Tab. 1 Feed formulation and nutrient levels (air-dried basis)

原料Ingredient (g/100 g)	W0	W5	W10	W15	W20
鱼粉Fish meal	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8
鸡肉粉Chicken powder	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
鱿鱼膏Squid paste	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
大豆磷脂Soy lecithin	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
磷酸二氢钙Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
氯化胆碱Choline Chloride	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
预混料Premix ¹	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
抗氧化剂Antioxidants	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
高筋面粉High-gluten flour	28.0	26.20	24.6	23.0	21.4
豆油Soybean oil	3.00	2.60	2.20	1.80	1.40
豆粕Soybean meal	27.8	25.0	22.0	19.0	16.0
小麦胚芽粉Wheat germ meal	0	5.00	10.0	15.0	20.0
合计Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
原料总价Total price ² (yuan/t)	6669	6644	6617	6591	6564
营养水平Nutritional level (%)					
粗蛋白Crude protein	42.80	42.61	41.73	42.17	44.12
粗脂肪Crude fat	7.72	7.93	7.64	7.17	7.49
水分Moisture	7.22	8.57	9.12	8.78	9.64
灰分Ash	9.36	9.29	9.32	9.13	9.50

注:¹所用预混料来自广州市诚一水产科技有限公司。每千克预混料含有:VA≥100万IU;VD₃15—25万IU;VK₃≥900 mg;VE≥9000 mg;VB₁≥2250 mg;VB₂≥2250 mg;VB₆≥2700 mg;VB₁₂≥2.5 mg;烟酰胺≥10800 mg;叶酸≥450 mg;D-泛酸钙≥7200 mg;D-生物素≥22 mg;V_c酯≥9000 mg;肌醇≥5000 mg;镁12000—30000 mg;锰3500—7000 mg;铁9000—18000 mg;锌5000—10000 mg;铜1200—2000 mg;碘20—40 mg;钴20—40 mg;硒20—40 mg;²原料价格会根据市场供应关系及国际形势等因素变动,饲料总价仅供参考

Note:¹The premix used was from Guangzhou Chengyi Aquatic Technology Co., LTD. Each kilogram of premix contains: VA≥1 million IU; VD₃ 15000—25000 IU; VK₃≥900 mg; VE≥9000 mg; VB₁≥2250 mg; VB₂≥2250 mg; VB₆≥2700 mg; VB₁₂≥2.5 mg; Niacinamide ≥10800 mg; Folic Acid ≥450 mg; D-Calcium Pantothenate ≥7200 mg; D-Biotin ≥22 mg; Vc Ester ≥9000 mg; Inositol ≥5000 mg; Magnesium 12000—30000 mg; Manganese 3500—7000 mg; Iron 9000—18000 mg; Zinc 5000—10000 mg; Copper 1200—2000 mg; Iodine 20—40 mg; Cobalt 20—40 mg; Selenium Cobalt 20—40 mg;²The total cost of feed is for reference only because the price of raw materials will change according to market supply and international situation

1.5%), 并根据实验鱼的摄食情况以及水温等环境因素进行相应调整。实验期间水温为21.0—26.9℃。

产后再培育雌性亲鱼实验从6月27日至7月27日, 养殖培育持续30d。实验鱼是来自同一批次刚完成产卵的雌性亲鱼。正式实验开始前1天对实验鱼饥饿24h, 试挑选体格健壮、规格均匀的825尾(56.7±1.0) g, 这个规格的鱼经历繁殖的人工操作后更易受伤, 存活率较低, 所以选用此规格的雌性亲鱼作为产后再培育的实验对象。随机放入5个组15个网箱内, 每组3个平行, 每个平行55尾鱼。每天(18:10—18:30) 表观饱食投喂1次(体质量的1%—2%), 实验期间水温为28.0—31.6℃。

实验期间溶氧≥5 mg/L, 氨氮<0.2 mg/L, 亚硝酸盐<0.01 mg/L, 光照周期为自然光周期。每天记录水温和死亡数量等。在实验期间的网箱, 用契合形状的钢筋固定以便网箱箱底接触池塘底部, 从而模拟池塘底部环境。

1.3 样品采集

春季产前培育养殖实验结束时, 停食24h, 记录每个网箱实验鱼剩余数量计算成活率(SR)。每个网箱随机取3尾实验鱼, 即每组9尾。记录体长和体质量后, 使用肝素钠抗凝的注射器取血转入抗凝离心管中, 在4℃下以3500 r/min离心10min, 取上清血浆做好标记放置在-20℃冰箱保存, 用于血液学指标测定。取完血后进行解剖, 取肝脏、肠系膜脂肪、性腺、去除内脏后空壳称重计算肥满度(CF)、肝体比(HSI)、脏体比(VSI)、肠系膜脂肪系数(MFI)和性腺指数(GSI)。取0.3—0.5 g卵巢中后段保存于Bouin's固定液中。固定后计数, 推算绝对繁殖力(F)和相对体重繁殖力(FW)。从每尾鱼固定好的卵粒中随机选择20粒利用显微镜镜台测微尺测定卵粒直径-卵径(ED)。同时取肝脏保存于-40℃冰箱, 用于肝脏抗氧化能力的测定。

产后再培育养殖实验结束时, 停食24h, 记录每个网箱实验鱼剩余数量计算成活率。每个网箱随机取3尾实验鱼, 即每组9尾。测定性腺指数、绝对繁殖力、相对体重繁殖力及卵径与春季培育取样测定方法一致。将每组取完样各个组的剩余试验鱼放在相应暂养池暂养用来做人工繁殖, 暂养池水温27.9—28.2℃, 保持微流水状态。采用胸鳍基部两针法注射催产药物, 第1针: 促黄体生成素释放激素类似物(LRH-A₂) 用量12 μg/kg; 第2针: LRH-A₂ 16 μg/kg, 脑垂体(PG) 4.5 mg/kg, 地欧酮8 mg/kg, 人绒毛膜促性腺激素(HCG) 500 IU/kg。两针间隔12h。在12h效应时间前2—3h检查黄颡鱼雌性亲鱼状态, 待60%—70%的试验鱼个体能顺利排卵后, 即

可以人工挤卵。采用“半干法”进行人工授精。所用精液是来自同1尾的瓦氏黄颡鱼, 进行人工授精。完成授精后将受精卵置于孵化桶进行流水孵化, 水流速度约0.2 m/s, 孵化桶水温26—28℃。待受精卵发育至原肠胚期计算受精率(FR) (约受精8h后), 每个组随机取样3次, 每次不少于200粒卵。在受精率测定后, 每组3个平行, 1个平行取200粒受精卵。受精卵放置于底部直径长22 cm、高35 cm的相同15个圆柱小桶内进行孵化。小桶上方有注水装置使桶一直保持流动水状态, 温度保持在28.5—28.8℃。待所有仔鱼出膜后统计每个桶内孵化率(HR)。

每个桶内随机选择20尾初孵仔鱼, 利用游标卡尺测定初孵仔鱼长度(BL)。测定结束保存在装有Bouin's固定液的离心管之后利用显微镜镜台测微尺测定初孵仔鱼卵黄囊长(YL)。

待出膜的鱼苗发育至可平游时, 统计各个桶的畸形率(MR)。待鱼苗由内源性营养转为混合营养时, 能主动开口摄食统计桶内鱼苗存活率即出苗率(ER)。随后不投喂, 水温环境控制不变, 统计仔鱼3d成活率(TSR)。

1.4 指标测定及方法

指标计算公式:

成活率(SR, %)=存活尾数/初始尾数×100

肥满度(CF, g/cm³)=体质量(g)/体长³(cm)×100

肝体比(HSI)=肝脏重/体质量×100

脏体比(VSI)=鱼空壳重/体质量×100

肠系膜脂肪系数(MFI)=肠系膜脂肪重/体质量×100

性腺指数(GSI)=性腺重/体质量×100

绝对繁殖力(F, 粒)=(样品卵粒数目/样品重)×性腺重

相对体重繁殖力(FW, 粒/g)=绝对繁殖力/体质量

受精率(FR, %)=受精卵数/总卵数×100

孵化率(HR, %)=孵化出苗数量/受精卵数量×100

畸形率(MR, %)=畸形苗数量/孵化出苗数量×100

出苗率(ER, %)=出苗数量/受精卵数量×100

仔鱼3d成活率(TSR, %)=3d仔鱼存活数量/孵化出苗数量×100

肝脏抗氧化酶活性及血浆生化指标采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定。具体测定步骤按照说明书进行。利用细胞破碎仪制作肝脏组织匀浆, 组织匀浆中蛋白质浓度及血浆蛋白浓度采用南京建成BCA微板法。

1.5 数据处理

数据采用SPSS 26.0软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 利用Duncan's多重比较确定组间差异的显著性, $P < 0.05$ 时表示在统计学上差异显著。文中数据均用平均值±标准差(mean±SD)表示。

2 结果

2.1 饲料中小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼肝脏抗氧化性能的影响

饲料中小麦胚芽添加对黄颡鱼雌性亲鱼肝脏抗氧化性能有明显影响, 肝脏抗氧化相关酶活性及丙二醛(MDA)含量对小麦胚芽添加有明显响应。超氧化物歧化酶(SOD)活性随小麦胚芽含量增加呈先升高后下降的趋势(图 1A), 在W10组达到最高(30.52±1.97) U/mg prot。W5组(23.47±2.65) U/mg prot、W10组(30.52±1.97) U/mg prot、W15组(25.31±2.36) U/mg prot和W20组(24.01±2.83) U/mg prot均显著高于W0组(7.20±2.10) U/mg prot。

过氧化氢酶(CAT)活性随小麦胚芽含量增加呈先升后降的趋势(图 1B), 在W10组达到最高, 为(30.48±2.22) U/mg prot。W5组(23.05±2.71) U/mg prot、W15组(26.32±3.62) U/mg prot和W20组(22.75±2.32) U/mg prot均显著高于W0组(6.69±2.57) U/mg prot。W15组显著高于W5组和W20组。

总抗氧化能力(T-AOC)活性同样随小麦胚芽含量增加呈先升后降趋势(图 1C), 在W10组达到最高, 为(0.19±0.03) mmol/g。W5组(0.16±0.02) mmol/g、W15组(0.16±0.01) mmol/g和W20组(0.16±0.01) mmol/g均显著高于W0组(0.13±0.02) mmol/g, 但这3组之间无显著性差异($P > 0.05$)。

丙二醛含量则随小麦胚芽含量增加呈先降低后趋于稳定的趋势(图 1D), W5组(1.21±0.53) nmol/mg prot、W10组(1.04±0.43) nmol/mg prot和W15组(1.10±0.38) nmol/mg prot显著低于W0组(1.99±0.50) nmol/mg prot。

根据小麦胚芽含量与抗氧化能力数据所拟合

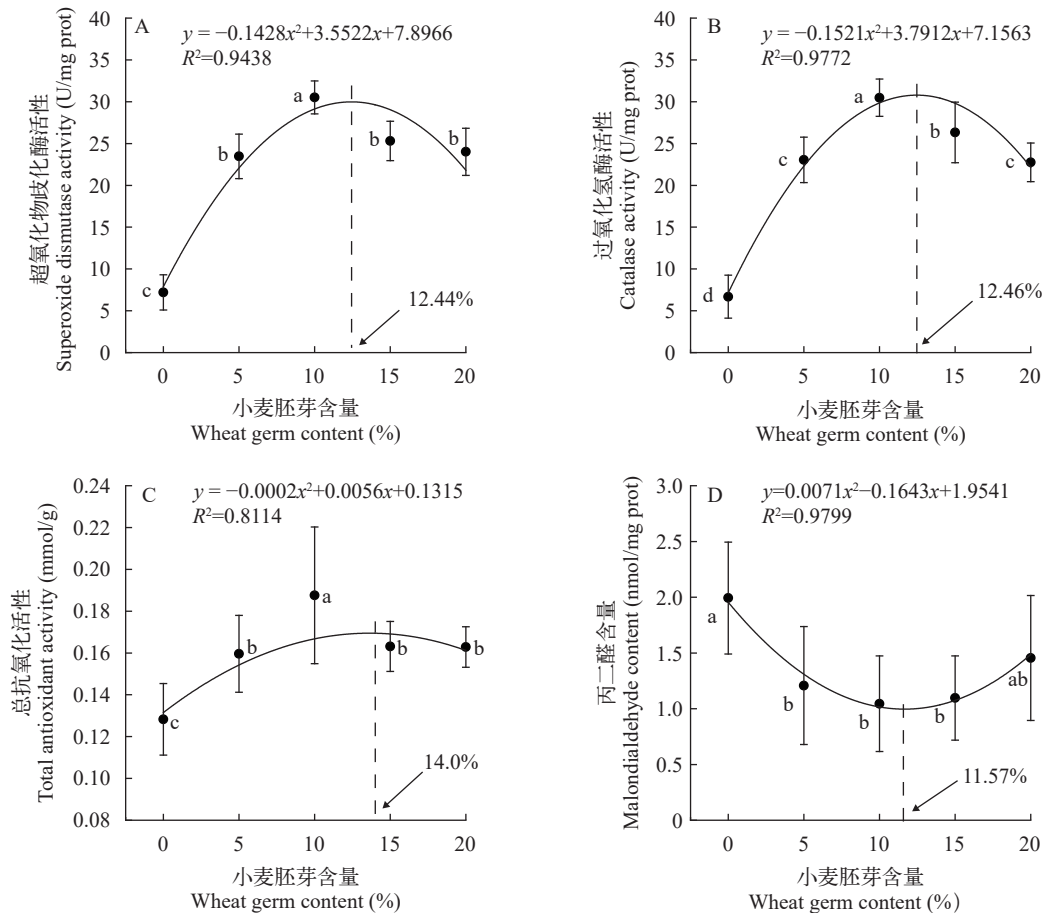


图 1 小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼肝脏抗氧化能力的影响

Fig. 1 Effects of wheat germ on liver antioxidative capacity of female broodstock in yellow catfish

数据以平均值±标准差表示; 同一曲线上不同字母表示差异显著($P < 0.05$); 下同

Data are displayed as mean±standard deviation. Different letters in the same curve indicate significant difference ($P < 0.05$). The same applies below

的多项式回归曲线显示,不同抗氧化活性指标达到最大值时对应的小麦胚芽含量较接近。超氧化物歧化酶对应小麦胚芽含量为12.44%,过氧化氢酶对应小麦胚芽含量为12.46%,总抗氧化能力对应小麦胚芽含量为14.0%,而与抗氧化性负相关的丙二醛含量在小麦胚芽含量为11.57%为最低(图 1),因此可得出小麦胚芽含量在11.57%—14.0%时肝脏抗氧化能力可达最大。

2.2 小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼血浆生理生化指标的影响

经过春季产前培育,小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼血浆生理生化指标影响如表 2 所示。血浆中葡萄糖(Glu)含量随小麦胚芽含量增多出现波动,在 W5 组达到最大值。在 W10 组下降为最小值, W10 与 W0 组无显著性差异($P>0.05$)。W15、W20 组比 W10 组显著性增高。

高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)含量随小麦胚芽含量的增多呈先升后降趋势, W0 组数值最小,在

W10 组达最大值。随后开始下降,但 W15 和 W20 组仍显著高于 W0 组。

低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量随小麦胚芽含量增多呈先升高后趋于稳定的趋势,其余各组显著低于 W0 组。而 4 个组之间无显著差异($P>0.05$)。低密度脂蛋白胆固醇含量与高密度脂蛋白胆固醇含量的比值(LDL-C/HDL-C)随小麦胚芽含量增多显著下降,其中 W10 组为最低,显著低于 W0、W15 和 W20 组。小麦胚芽添加对实验组碱性磷酸酶(AKP)、甘油三酯(TG)、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)和总胆固醇(T-CHO)含量均未造成显著性影响($P>0.05$)。

2.3 小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼成活率的影响

饲料中小麦胚芽的添加,能有效提高黄颡鱼雌性亲鱼成活率(图 2)。春季产前培育结果如图 2A 所示, W0 组成活率最低($76.97\pm1.05\%$),小麦胚芽添加组成活率均显著高于 W0 组($P<0.05$), W5 组($89.70\pm2.10\%$)、W10 组($89.70\pm1.05\%$)、W15 组

表 2 小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼血浆生理生化指标的影响

Tab. 2 Effects of wheat germ on plasma physiological and biochemical indexes of female broodstock in yellow catfish

指标Index	W0组	W5组	W10组	W15组	W20组
总蛋白TP (μg/mL)	0.78±0.06	0.70±0.03	0.74±0.08	0.75±0.03	0.81±0.03
白蛋白ALB (g/L)	16.7±4.26	15.6±2.99	17.9±1.37	14.7±2.27	15.6±2.72
葡萄糖Glu (mmol/L)	12.6±0.49 ^c	24.2±1.02 ^a	11.4±1.06 ^c	14.5±0.97 ^b	14.9±0.67 ^b
甘油三酯TG (mmol/L)	2.7±0.30	2.8±0.18	2.5±0.05	2.9±0.37	2.5±0.05
高密度脂蛋白胆固醇HDL-C (mmol/L)	0.91±0.08 ^c	2.59±0.47 ^{ab}	3.49±0.18 ^a	1.72±0.11 ^b	1.77±0.04 ^b
低密度脂蛋白胆固醇LDL-C (mmol/L)	1.24±0.17 ^b	1.93±0.12 ^a	1.79±0.32 ^a	1.60±0.09 ^a	1.77±0.14 ^a
低/高密度脂蛋白胆固醇LDL-C/HDL-C	1.38±0.32 ^a	0.76±0.13 ^{bc}	0.52±0.12 ^c	0.94±0.11 ^b	1.00±0.09 ^b
总胆固醇T-CHO (mmol/L)	3.19±0.21	3.17±0.30	3.17±0.44	2.72±0.04	3.11±0.18
碱性磷酸酶AKP (U/dL)	63.0±1.91	59.7±6.68	54.4±5.58	56.8±1.33	55.9±6.30

注:数据用平均值±标准差表示,每处理组实验鱼数量为9尾。同行数据上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);下同

Note: Data are displayed as mean±standard deviation. Sampling number is 9 for each group. Different superscript letters in the same row indicate significant differences ($P<0.05$). The same applies below

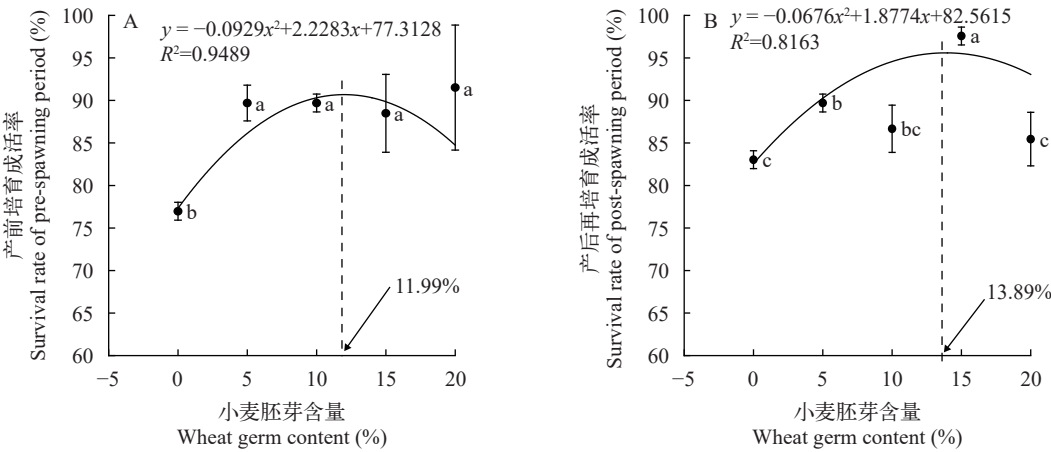


图 2 小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼产前培育和产后培育成活率的影响

Fig. 2 Effects of wheat germ on survival rate of female broodstock in yellow catfish during pre-spawning and post-spawning period

(88.48±4.58)%和W20组(91.52±7.35)%的成活率分别较对照组W0组提高了16.5%、16.5%、15.0%和18.9%($P<0.05$),但W5、W10、W15和W20四组之间无显著性差异($P>0.05$)。根据小麦胚芽含量与产前培育成活率实验数据拟合的多项式回归曲线显示,在小麦胚芽含量11.99%时成活率达到最大值。

产后再培育结果如图2B所示,W15组(97.58±1.05)%成活率最高,比W0组(83.03±1.05)%、W5组(89.70±1.05)%、W10组(86.67±2.78)%和W20组(85.45±3.15)%显著提高了17.1%、8.8%、12.6%和14.2%。W5组显著高于W0、W20组,W0组、W10组和W20组之间无显著性差异($P>0.05$)。根据小麦胚芽含量与产后再培育成活率实验数据拟合的多项式回归曲线显示,在小麦胚芽含量13.89%时成活率达到最大值。

2.4 饲料中小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼形体指标和繁殖性能的影响

饲料中小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼形体指标的影响如表3所示,W5组的肠系膜脂肪系数显著高于W0组,其余实验组之间无显著差异($P>0.05$)。各实验组的肝体比、脏体比和肥满度指标之间均无显著性差异($P>0.05$)。

表4和表5分别展示了产前经过49d养殖和产后经过30d的营养强化培育后小麦胚芽对黄颡鱼雌

性亲鱼繁殖性能的影响。小麦胚芽没有对试验组的性腺指数、绝对繁殖力、相对体重繁殖力和卵径产生显著性影响($P>0.05$),但是绝对繁殖力和相对体重繁殖力与对照W0组相比有所提升。

在产后再培育阶段(表6),小麦胚芽添加量超过10%后,黄颡鱼人工繁殖受精率显著下降($P<0.05$),但W5、W10和W15组畸形率显著低于对照组($P<0.05$),孵化率也略高于对照组($P>0.05$)。综合受精率、孵化率和畸形率结果,小麦胚芽在产后在培育阶段添加量不应超过10%。

3 讨论

3.1 小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼肝脏抗氧化能力的影响

肝脏不仅是机体生理代谢的中心器官,还能合成卵巢发育所需的卵黄蛋白原^[20,21]。机体的抗氧化系统能保护机体免受活性氧增加导致的氧化损伤,而肝脏的抗氧化系统对环境 and 营养变化较敏感。抗氧化系统包含有超氧化物歧化酶和过氧化氢酶等一系列抗氧化酶^[22],而丙二醛是脂质过氧化的产物,含量与机体的健康呈负相关^[23]。总抗氧化能力活力可以作为全面评价亲鱼抗氧化性能的依据^[24],能有效抵御自由基从而保障机体正常生理功能^[25]。本次实验结果中肝脏抗氧化酶活性的显著

表3 小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼形体指标的影响

Tab. 3 Effects of wheat germ on physical indexes of female broodstock in yellow catfish

指标 Index	W0组	W5组	W10组	W15组	W20组
脏体比VSI	20.3±4.67	25.0±1.77	22.3±4.10	22.8±2.17	21.5±2.98
肝体比HSI	1.58±0.64	1.74±0.41	1.67±0.20	1.78±0.44	1.77±0.41
肥满度 CF (g/cm ³)	2.29±0.69	2.20±0.20	2.24±0.20	2.23±0.21	2.27±0.23
肠系膜脂肪系数MFI	1.00±0.79 ^b	3.34±1.83 ^a	3.01±2.36 ^{ab}	2.38±1.49 ^{ab}	2.70±1.67 ^{ab}

表4 小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼产前培育繁殖性能的影响

Tab. 4 Effects of wheat germ on spawning ability of female broodstock in yellow catfish during pre-spawning

指标 Index	W0组	W5组	W10组	W15组	W20组
性腺指数GSI	13.6±3.02	15.8±1.56	13.4±3.39	14.5±1.22	13.3±2.30
绝对繁殖力AF (粒)	7586±1872	10012±1958	9007±3677	10189±1568	9571±2661
相对体重繁殖力RF (粒/g)	72.2±17.0	88.8±23.2	79.0±21.9	95.4±14.9	80.2±18.2
卵径ED (mm)	1.48±0.11	1.47±0.13	1.47±0.08	1.48±0.07	1.49±0.06

表5 小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼产后再培育繁殖性能的影响

Tab. 5 Effects of wheat germ on reproductive performance of female yellow catfish after post-spawning rebreeding

指标 Index	W0组	W5组	W10组	W15组	W20组
性腺指数GSI	13.2±3.14	12.7±2.57	12.4±3.41	13.2±2.77	14.9±1.99
绝对繁殖力AF (粒)	6174±1986	7196±2699	6486±2451	7130±1905	7577±1883
相对体重繁殖力RF (粒/g)	97.6±24.7	92.1±17.5	88.0±21.4	104.0±21.1	104.0±17.5
卵径ED (mm)	1.21±0.10	1.20±0.09	1.19±0.09	1.22±0.10	1.20±0.09

提高, 脂质过氧化的风险被降低, 这与Mutlu等^[26]在果蝇和El-Sisy等^[12]在雄兔中饮食中添加小麦胚芽结果一致。现代鱼类养殖和亲本培育过程中, 主要以饲料为主, 过量投喂会导致肝脏和消化系统出现不同程度的损伤, 而小麦胚芽添加能改善肝脏抗氧化性能, 从而改善卵黄蛋白原合成状况, 这可能是其提高繁殖性能的重要原因。

研究表明小麦胚芽具有丰富的黄酮类化合物、维生素E、维生素C、类胡萝卜素和胚芽多糖, 能清除多余的氧自由基, 降低脂质被氧化的风险及增强还原性, 通过与金属离子发生配位效应提高超氧化物歧化酶、过氧化氢酶抗氧化酶的活性来提高抗氧化能力^[8, 27, 28]。关于小麦胚芽抗氧化的功效是否能在鱼类中体现出来, 较少有研究报道, 在亲鱼上的作用更是较少有关注。本实验通过肝脏抗氧化酶活性指标的测定, 确定了小麦胚芽可以作为抗氧化剂和自由基清除剂^[29], 提高黄颡鱼雌性亲鱼肝脏抗氧化能力, 肯定了使用小麦胚芽后对黄颡鱼雌性亲鱼肝脏健康的积极作用, 为小麦胚芽在鱼类亲本的科学培育方面提供了重要依据。

3.2 小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼血浆生理生化指标的影响

鱼类自身新陈代谢及健康状态会反映在血浆生理生化指标中, 而指标与饲料营养关系紧密^[30]。鱼类吸收利用饲料中碳水化合物能力较差, 黄颡鱼属杂食性鱼类, 杂食性和植食性利用碳水化合物能力高于肉食性鱼类^[31]。小麦胚芽中含有较高的碳水化合物, 本实验结果中W10组血糖水平与W0组无显著性差异($P>0.05$), W15和W20组虽显著升高但趋于稳定, 结合所在组实验鱼的成活率, 说明黄颡鱼雌性亲鱼能够很好地消化吸收并利于小麦胚芽中的碳水化合物作为能量来源之一, 且在10%含量时达到更好的利用度, 可以作为蛋白质和脂肪等主要能量来源的补充。

高密度脂蛋白胆固醇负责将组织胆固醇运输至肝脏进行清除, 含量与健康状况呈正相关^[32]。低

密度脂蛋白胆固醇负责将肝内胆固醇输出至组织中, 含量与健康状况呈负相关^[32]。低/高密度脂蛋白胆固醇含量比值指标用来反映机体是否存在潜在血脂异常情况, 比值与健康呈负相关^[33]。本实验结果显示, 随着小麦胚芽含量增多, 虽然低密度脂蛋白胆固醇和高密度脂蛋白胆固醇含量均上升, 但高密度脂蛋白胆固醇含量上升更为迅速, 因而低/高密度脂蛋白胆固醇含量比值下降, 利于健康, 尤其在W10组效果最优。这说明小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼的血脂代谢和血脂健康有利, 建议小麦胚芽添加含量为10%。本研究结果与Reza Zakeri等^[34]、Rezp等^[35]在人类研究中结果一致, 推测其原因也类似, 学者认为小麦胚芽中含有黄酮类化合物、植物甾醇、纤维及其蛋白成分能促进脂肪代谢, 防止脂肪过度沉积^[35-37]。此外, 本研究中血浆中总蛋白、白蛋白和碱性磷酸酶没有显著变化, 说明小麦胚芽给黄颡鱼雌性亲鱼的肝脏未造成负面影响。

3.3 小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼成活率、形体指标及繁殖性能的影响

小麦胚芽对黄颡鱼雌性亲鱼的成活率有较大提升, 这与小麦胚芽使用在对虾^[15]、鲈^[16]上结果不同, 原因可能是其作用在对虾、鲈幼鱼阶段, 而本实验作用于亲鱼, 且实验设计基于池塘养殖大水体环境, 更具有实际生产参考价值。春季产前培育阶段, 小麦胚芽添加组均能显著提高雌性亲鱼的成活率, 推测与小麦胚芽中富有的维生素群体、不饱和脂肪酸和多种生物活性物质有关, 不仅利于雌性亲鱼的血脂代谢, 提高了机体的营养水平, 还通过抗氧化能力的提升, 以及不饱和脂肪酸的补充, 对亲鱼存活和繁殖起到积极作用。产后再培育阶段, W5组和W15组也显著提高了黄颡鱼雌性亲鱼的成活率, 且效果更明显, 推测由于产卵后的雌性亲鱼体能耗损严重, 比春季培育的雌性亲鱼更虚弱, 此时用小麦胚芽增强免疫力效果显著, 能够帮助其恢复健康。但是小麦胚芽添加量要适中, 碳水化合物水平过高可能会对繁殖产生负面影响。

表6 小麦胚芽对产后再培育黄颡鱼雌性亲鱼繁殖性能及仔鱼质量的影响

Tab. 6 Effects of wheat germ on quality of eggs and larvae of female yellow catfish after post-spawning rebreeding

指标 Index	W0组	W5组	W10组	W15组	W20组
受精率FR (%)	89.5±0.32 ^a	88.0±3.27 ^a	82.0±1.48 ^b	79.3±3.77 ^b	64.3±1.93 ^c
孵化率HR (%)	79.5±3.77	85.8±0.29	87.0±2.29	87.3±5.11	84.7±3.33
畸形率MR (%)	3.79±1.38 ^{ab}	2.72±0.34 ^b	2.31±0.61 ^b	2.87±0.60 ^b	5.55±1.42 ^a
出苗率ER (%)	39.0±8.08	42.6±7.09	43.4±4.35	44.0±5.83	36.4±5.36
初孵仔鱼卵黄囊长度YL (mm)	1.82±0.10	1.82±0.11	1.80±0.12	1.80±0.11	1.81±0.11
初孵仔鱼长度BL (mm)	4.80±0.31 ^a	4.79±0.54 ^a	4.65±0.46 ^a	4.79±0.33 ^a	4.41±0.44 ^b
仔鱼3d存活率TSR (%)	44.3±6.81	44.3±7.17	44.4±2.95	44.7±5.45	38.5±5.93

脂肪成本低,且容易被鱼类吸收利用,是鱼类较为理想的能量来源。鱼类需要一定的脂肪蓄积预防外界食物缺乏等不利情况的出现,雌性亲鱼性腺发育与成熟更是需要大量脂肪积累,以满足卵子正常发育的需求。脂肪主要蓄积在肝脏、肠系膜和肌肉等部位,适度蓄积脂肪的现象属于机体营养良好的表现^[38]。但脂肪过度沉积,会造成免疫力下降和脂毒性等不良影响^[38]。黄颡鱼会最先在肠系膜上蓄积脂肪,胡伟华等^[39]研究发现,适量的肠系膜脂肪才能保证黄颡鱼雌性亲鱼繁殖性能及鱼苗质量。本研究春季产前培育阶段,W0组的肠系膜脂肪堆积相比于其他实验组较少,同时W0组的成活率也是最低,说明肠系膜脂肪过少不利于其开春后的存活,不能满足繁殖期黄颡鱼雌性亲鱼的生理需求。而小麦胚芽添加组中肠系膜脂肪系数数值最高的也在适宜的范围内(3.34%),且亲本成活率高,同时各实验组的肥满度、肝体比和脏体比指标均无显著差异,表明适当的小麦胚芽添加量,不仅能提高黄颡鱼雌性亲鱼营养水平,且不会造成过度脂肪沉积,使鱼肥满度适中。在欧洲鲈^[16]、半滑舌鲷^[17]上的研究表明,小麦胚芽对幼鱼的肥满度、肝体比和脏体比指标无显著影响,并且适当的添加还可以提高蛋白质效率和饲料利用率。综上,小麦胚芽合理添加量对鱼类不同发育阶段均会产生积极影响。

Greenhill^[40]在临床采用小麦胚芽治疗不孕或者习惯性流产的女性,效果显著,其认为是小麦胚芽中丰富的维生素E、维生素A发挥了作用。Blanco等^[41]学者认为,烟草芽虫能利用小麦胚芽所拥有的均衡蛋白从而保证繁殖率。后续学者发现食用小麦胚芽能提高雄兔的繁殖性能^[12],认为是小麦胚芽中的维生素E、硒提高睾丸激素水平,增加精子数量,同时黄酮类化合物、维生素C和类胡萝卜素等能减少脂质过氧化。在本次产前培育和产后强化营养培养后,小麦胚芽添加对绝对怀卵量和相对体重怀卵量均未产生统计学上的显著性影响,这与郑紫薇等^[42]、Blanco等^[41]在鸟类和昆虫中研究结果一致,与El-Sisy等^[12]和Goane等^[14]在哺乳和昆虫类结果不同,可能与实验中取样存在个体差异有关。黄颡鱼属分批产卵鱼类,性腺发育存在较大的个体差异性,因此后续研究将增大样品量,从而减少因样品量少引起的组内差异。

产后再培育阶段,小麦胚芽W10、W15和W20组较对照组受精率下降,可能是小麦胚芽的油脂80%为不饱和系,其中n-6多不饱和脂肪酸(亚油酸)约占60%^[8],而鱼卵对n-3多不饱和脂肪酸的需求量要高于n-6系^[43],造成n-3多不饱和脂肪酸积累不

够。但适宜小麦胚芽添加能提高孵化率,降低鱼苗畸形率,有利于实际生产。尽管如此,本研究中小麦胚芽添加组绝对怀卵量和相对体重怀卵量平均值均高于未添加组,尤其W15组绝对怀卵量和相对体重怀卵量均高于W0组30%以上,这对实际生产将产生巨大的积极作用。

4 结论

黄颡鱼雌性亲鱼春季产前培育和产后再培育结果表明,饲料中添加小麦胚芽能显著提高黄颡鱼雌性亲鱼肝脏抗氧化性能及营养水平。虽然饲料中的小麦胚芽对繁殖力没有直接显著性提升,但是能显著提高亲本成活率,从而提高雌性亲本有效利用率,且能降低产后培育阶段雌性亲本人工繁殖子代畸形率,有利于其规模化繁殖。综合考虑本研究结果,建议在产前培育阶段的饲料中添加10%—15%小麦胚芽,能够提升黄颡鱼雌性亲鱼的成活率、肝脏抗氧化性能和碳水化合物利用能力,利于糖脂代谢和规模化繁殖。产后再培育阶段饲料中添加5%—10%小麦胚芽,能提高亲本利用率。

参考文献:

- [1] Li B, Fan Q X, Zhang L, *et al.* Acute toxic effects of ammonia and nitrite on yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) at different dissolved oxygen levels [J]. *Freshwater Fisheries*, 2009, **39**(3): 31-35. [李波, 樊启学, 张磊, 等. 不同溶氧水平下氨氮和亚硝酸盐对黄颡鱼的急性毒性研究 [J]. 淡水渔业, 2009, **39**(3): 31-35.]
- [2] Yu Y, Chen M, Qi P P, *et al.* High temperature-induced masculinization in yellow catfish *Tachysurus fulvidraco*: A potential approach for environmental-friendly monosex production [J]. *Aquaculture*, 2021, **534**: 736263.
- [3] Zhang X L, Cui L F, Li S M, *et al.* China Fishery Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2022: 25-26. [张显良, 崔利锋, 李书民, 等. 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2022: 25-26.]
- [4] Shen Z G, Fan Q X, Yang W, *et al.* Effects of non-steroidal aromatase inhibitor letrozole on sex inversion and spermatogenesis in yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. *The Biological Bulletin*, 2013, **225**(1): 18-23.
- [5] Schreck C B, Contreras-Sanchez W, Fitzpatrick M S. Effects of stress on fish reproduction, gamete quality, and progeny [J]. *Aquaculture*, 2001, **197**(1-4): 3-24.
- [6] Liu Y, Yu Y, Lu Z Y, *et al.* Induction of XX pseudo-males, and large-scale reproduction and cultivation of all-female population in yellow catfish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2022, **46**(12): 1939-1948. [刘娅, 于跃, 鲁子怡, 等. 黄颡鱼XX伪雄鱼诱导与全雌种群规模化繁育 [J]. 水生生物学报, 2022, **46**(12): 1939-1948.]
- [7] Wang M M. Study on physical and chemical properties,

- processing characteristics and solid beverage of wheat germ [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2018: 1-2. [汪苗苗. 小麦胚芽的理化性质、加工特性及固体饮料的研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018: 1-2.]
- [8] Zhao J, Han J. The latest research progress of nutrition and health care function of wheat germ [J]. *Cereal & Food Industry*, 2021, **28**(1): 24-27,32. [赵静, 韩加. 小麦胚芽的营养与健康保健功能最新研究进展 [J]. 粮食与食品工业, 2021, **28**(1): 24-27,32.]
- [9] Brandolini A, Hidalgo A. Wheat germ: not only a by-product [J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2012, **63**(S1): 71-74.
- [10] Mahmoud A A, Mohdaly A A, Elneairy N A. Wheat germ: an overview on nutritional value, antioxidant potential and antibacterial characteristics [J]. *Food and Nutrition Sciences*, 2015, **6**(2): 265-277.
- [11] Xiao R. Study of preparation and biscuit processing of wheat germ [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2016: 1-2. [肖蕊. 小麦胚芽制备及饼干加工技术研究 [D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2016: 1-2.]
- [12] El-Sisy G A, Khalifa W H, El-Nattat W S, *et al.* Effect of dietary supplementation of wheat germ on some reproductive performances and oxidative status of rabbit bucks under heat stress [J]. *Bioscience Research*, 2018(15): 4267-4273.
- [13] Zhou Z Q, Wang X J, Wu C F. Comparative experiment on the effect of germ feed on boar semen quality [J]. *Swine Production*, 2016(4): 36-37. [周自强, 汪秀菊, 吴传飞. 胚芽饲料对公猪精液质量影响对比试验 [J]. 养猪, 2016(4): 36-37.]
- [14] Goane L, Pereyra P M, Castro F, *et al.* Yeast derivatives and wheat germ in the adult diet modulates fecundity in a tephritid pest [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2019, **109**(2): 178-190.
- [15] Zhu W, Mai K S. Feasibility study on replacing fish meal in shrimp feed with wheat germ powder [J]. *China Feed*, 2000(12): 20-22. [朱伟, 麦康森. 用麦胚粉取代对虾饲料中鱼粉的可行性研究 [J]. 中国饲料, 2000(12): 20-22.]
- [16] Reis B, Marques A, Campos I, *et al.* Wheat germ as an alternative ingredient to a fair average quality fishmeal in diets for European seabass [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2019, **25**(4): 932-945.
- [17] Huang Y, Wang J Y, Li B S, *et al.* Effects of replacing fish oil with wheat germ oil on growth performance, body composition, serum biochemical indices, and lipid metabolic enzymes in juvenile *Cynoglossus semilaevis* Günther [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, **22**(6): 1195-1208. [黄裕, 王际英, 李宝山, 等. 小麦胚芽油替代鱼油对半滑舌鳎幼鱼生长、体成分、血清生化指标及脂肪代谢酶的影响 [J]. 中国水产科学, 2015, **22**(6): 1195-1208.]
- [18] Li B S, Wang J Y, Huang Y, *et al.* Effects of replacing fish oil with wheat germ oil on growth, fat deposition, serum biochemical indices and lipid metabolic enzyme of juvenile hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂) [J]. *Aquaculture*, 2019(505): 54-62.
- [19] Ye J M, Wu K, Cong N, *et al.* Comparison of artificial reproduction performance of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) twice a year [J]. *Aquaculture*, 2016, **37**(8): 4-6. [叶金明, 吴康, 丛宁, 等. 黄颡鱼一年二次人工繁殖性能的比较 [J]. 水产养殖, 2016, **37**(8): 4-6.]
- [20] Long S S, Dong X H, Liu H, *et al.* Effect of dietary oxidized fish oil on liver function in hybrid grouper (♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*) [J]. *Aquaculture Reports*, 2022(22): 101000.
- [21] Yang X P. Animal Physiology III [M]. Beijing: Higher Education Press, 2016: 332-333. [杨秀平. 动物生理学第3版 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2016: 332-333.]
- [22] Montaser M M, El-Sharnouby M E, El-Noubi G, *et al.* Boswellia serrata resin extract in diets of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: effects on the growth, health, immune response, and disease resistance to *Staphylococcus aureus* [J]. *Animals*, 2021, **11**(2): 446.
- [23] Chen X Y, Chen S J, Huang W, *et al.* Effects of fishmeal replacement by fermented soybean meal with bacteria and enzyme on growth performance, serum biochemical, immune and antioxidant indexes and hepatic histology of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, **33**(5): 2848-2863. [陈晓瑛, 陈绍坚, 黄文, 等. 菌酶协同发酵豆粕替代鱼粉对大口黑鲈生长性能、血清生化、免疫和抗氧化指标及肝脏组织形态的影响 [J]. 动物营养学报, 2021, **33**(5): 2848-2863.]
- [24] Guan M, Zhang D Z, Tang D M. Effects of chronic ammonia stress on growth, antioxidative and immunity indices in liver of juvenile *Acipenser schrenckii* [J]. *South China Fisheries Science*, 2020, **16**(2): 36-42. [管敏, 张德志, 唐大明. 慢性氨氮胁迫对史氏鲟幼鱼生长及其肝脏抗氧化、免疫指标的影响 [J]. 南方水产科学, 2020, **16**(2): 36-42.]
- [25] Hassaan M S, Mohammady E Y, Soaudy M R, *et al.* Effect of *Silybum marianum* seeds as a feed additive on growth performance, serum biochemical indices, antioxidant status, and gene expression of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings [J]. *Aquaculture*, 2019(509): 178-187.
- [26] Mutlu A G. The effects of a wheat germ rich diet on oxidative mtDNA damage, mtDNA copy number and antioxidant enzyme activities in aging *Drosophila* [J]. *Acta Biologica Hungarica*, 2013, **64**(1): 1-9.
- [27] Gui Z Y. Study on extraction, purification and antioxidant activity of wheat germ polysaccharides [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2011: 3-4. [桂志远. 麦胚多糖提取、纯化及抗氧化活性研究 [D]. 武汉: 武汉工业学院, 2011: 3-4.]

- [28] Santos-Sánchez N, Salas-Coronado R, Villanueva-Cañongo C, *et al.* Antioxidant Compounds and Their Antioxidant Mechanism [M]. Antioxidants. UK: IntechOpen, 2019: 1-29.
- [29] Chen W J, Cao W Antioxidant activity of wheat germ extracts [J]. *Food Science*, 2004, 25(10): 294-300. [陈卫军, 曹伟. 麦胚提取物的抗氧化性研究 [J]. 食品科学, 2004, 25(10): 294-300.]
- [30] Ye K, Wang Q R, Xie Y J, *et al.* Effects of dietary lipid level on growth performance, muscle composition and plasma biochemical indices of juvenile *Nibea albiflora* [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(4): 1418-1426. [叶坤, 王秋荣, 谢仰杰, 等. 饲料脂肪水平对黄姑鱼幼鱼生长性能、肌肉组成和血浆生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2017, 29(4): 1418-1426.]
- [31] Luo Y P, Xie X J. Progress of carbohydrate utilization in fish [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(2): 381-390. [罗毅平, 谢小军. 鱼类利用碳水化合物的研究进展 [J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 381-390.]
- [32] Wen Y H, Mi H F, Zhang L, *et al.* Effects of soybean oil replacement by palm oil on growth performance, muscle nutritional composition and serum biochemical indexes of juvenile genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(3): 953-960. [文远红, 米海峰, 张璐, 等. 棕榈油替代大豆油对吉富罗非鱼幼鱼生长性能、肌肉营养成分和血清生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2016, 28(3): 953-960.]
- [33] Qiao H J, Hu D X, Hu W J, *et al.* Effects of dietary *Sargassum thunbergii* powder on growth performance, body composition, antioxidation and non-specific immune parameters of juvenile turbot [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(1): 109-116. [乔洪金, 胡冬雪, 胡文靖, 等. 饲料中添加鼠尾藻粉对大菱鲆幼鱼生长、体成分、抗氧化和非特异免疫参数的影响 [J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(1): 109-116.]
- [34] Reza Zakeri H, Ataie Jafari A, Rajabi M, *et al.* Effects of wheat germ on a population of hyperlipidemic patients [J]. *Nutrition & Food Science*, 2009, 39(1): 24-28.
- [35] Rezaq A A, Mahmoud M Y. Preventive effect of wheat germ on hypercholesteremic and atherosclerosis in rats fed cholesterol-containing diet [J]. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2011, 10(5): 424-432.
- [36] Dong L H, Zhang R F, Su D X, *et al.* Research progress on the hypolipidemic effects of flavonoids and the related molecular mechanisms [J]. *Chinese Journal of Cell Biology*, 2016, 38(1): 81-90. [董丽红, 张瑞芬, 苏东晓, 等. 食源性黄酮类化合物改善脂质代谢作用及其机制研究进展 [J]. 中国细胞生物学学报, 2016, 38(1): 81-90.]
- [37] Liu C, Sun Y, Yang L, *et al.* The hypolipidemic and antioxidant activity of wheat germ and wheat germ protein in high-fat diet-induced rats [J]. *Molecules*, 2022, 27(7): 2260.
- [38] Zhang M L, He X H. Role of fat in the nutrition and feeds of fishes [J]. *Reservoir Fisheries*, 2003, 23(5): 62-63. [张满隆, 何小慧. 脂肪在鱼类营养及其饲料中的作用 [J]. 水利渔业, 2003, 23(5): 62-63.]
- [39] Hu W H, Xiong Y, Guo W J, *et al.* The effect of mesenteric fat deposition on reproduction performance of female parent fish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2021, 45(6): 1181-1189. [胡伟华, 熊阳, 郭稳杰, 等. 黄颡鱼母本的肠系膜脂肪沉积对繁育性能的影响 [J]. 水生生物学报, 2021, 45(6): 1181-1189.]
- [40] Greenhill J P. Treatment of sterility and habitual abortion with wheat-germ and wheat-germ oil (vitamin E) [J]. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 1935, 29(4): 613.
- [41] Blanco C A, Portilla M, Abel C A, *et al.* Soybean flour and wheat germ proportions in artificial diet and their effect on the growth rates of the tobacco budworm, *Heliothis virescens* [J]. *Journal of Insect Science*, 2009, 9(1): 59.
- [42] Zheng Z W, Zhao G X, Ma K W, *et al.* Effects of tenebrio molitor and wheat germ on laying performance, egg quality and antioxidant function of hens at the early cycle [J]. *China Poultry*, 2021, 43(1): 43-49. [郑紫薇, 赵国先, 马可为, 等. 黄粉虫、小麦胚芽对初产蛋鸡生产性能、蛋品质和抗氧化机能的影响 [J]. 中国家禽, 2021, 43(1): 43-49.]
- [43] Dai M, Yao J J, Hou J L, *et al.* Comparison of fatty acid composition in muscle and egg of *Pelteobagrus fulvidraco* and *Mystus macropterus* [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2009, 30(9): 282-285. [代鸣, 姚俊杰, 侯俊利, 等. 黄颡鱼和大鳍鲢肌肉及鱼卵中脂肪酸组成的比较 [J]. 食品工业科技, 2009, 30(9): 282-285.]

WHEAT GERM SUPPLEMENT ON REPRODUCTIVE PERFORMANCE OF FEMALE BROODSTOCK IN YELLOW CATFISH

LI Ya-Ning¹, CHEN Min¹, LIU Yang¹, HAN Lei^{1,2}, HE Yan¹, FAN Qi-Xue^{1,2} and SHEN Zhi-Gang¹

(1. Key Laboratory of Freshwater Animal Breeding, Ministry of Agriculture, Engineering Research Center of Green development for Conventional Aquatic Biological Industry in the Yangtze River Economic Belt, Ministry of Education, Hubei Provincial Engineering Laboratory for Pond Aquaculture, College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Hubei Huangyouyuan Fishery Development Limited Company, Wuhan 430070, China)

Abstract: The sustainable development of the aquaculture industry for yellow catfish (*Tachysurus fulvidraco*) in China has been hindered by a shortage of females and inadequate scientific feeding, as well as the shortage of raw aquatic feed materials. Studies have shown that wheat germ, which contains plant functional nutrient with antioxidant, anticancer, hypolipidemic, and gonad-development promoting effects, could be a potential feed material. This study evaluated the effects of wheat germ on the survival rate, liver antioxidant capacity, plasma physiology and biochemistry, and reproductive performance of 825 female broodstock of yellow catfish, and determined the feasibility of wheat germ as feed material by feeding different wheat germ addition 0, 5%, 10%, 15% and 20% (w/w). The results showed that wheat germ could significantly improve survival rate and liver antioxidant capacity of the female broodstock ($P<0.05$). Wheat germ significantly improved the enzyme activity of the female broodstock ($P<0.05$). The activity of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and total antioxidant capacity (T-AOC) enzyme was the highest in the 10% wheat germ addition diet, with which the content of malondialdehyde (MDA) was the lowest. The polynomial curve equation showed that the wheat germ addition of 11.57%—14.0% in the diet had the highest antioxidant activity. When the addition amount of wheat germ reached 10%, it did not significantly affect plasma glucose (GLU) ($P>0.05$). It caused a significant increase in the content of high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) ($P<0.05$), and a significant decrease in the ratio of low-density lipoprotein cholesterol to high-density lipoprotein cholesterol (LDL-C/HDL-C) ($P<0.05$). In conclusion, wheat germ can be a beneficial feed material for female parents of yellow catfish, particularly during the pre-spawning period with an addition amount of 10%—15% of diet quality and during the post-spawning period with an addition amount of 5%—10%. The present study provides an important foundation for further broodstock feed development and cultivation.

Key words: Wheat germ; Female broodstock; Fecundity; Survival rate; Oxidation resistance; Physiological and biochemical indexes; *Tachysurus fulvidraco*