

不同脂肪源对异育银鲫生长性能、机体成分、血清生化指标、 体组织脂肪酸组成及脂质代谢的影响

张媛媛^{1,2}, 刘 波^{1,2}, 戈贤平^{1,2*}, 刘文斌¹, 谢 骏^{1,2}, 高启平³, 顾夕章³

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业部淡水鱼类遗传育种和养殖生物学重点开放实验室, 江苏 无锡 214081; 3. 通威集团有限公司, 四川 成都 610000)

摘要: 试验以异育银鲫为研究对象, 分别以日粮中添加 5.4% 鱼油、5.4% 豆油、5.4% 菜籽油、5.4% 亚麻油为脂肪源, 选择健康、规格、体质量基本一致的异育银鲫 336 尾, 随机分为 4 组, 每组 3 个重复、在可控温循环流水圆形蓄养槽内进行为期 64 d 的投喂试验, 探讨不同脂肪源对异育银鲫生长、体成分及血清生化指标的影响。试验结果表明: 豆油组及菜籽油组增重率、特定生长率显著高于鱼油组, 豆油组肥满度显著低于鱼油组及亚麻油组, 各试验组末均体质量、饲料系数、肝体比及脏体比均没有显著差异($P>0.05$); 各组间肌肉水分、粗脂肪、粗蛋白及粗灰分均无显著差异($P>0.05$); 不同饲料脂肪源对鱼体肌肉脂肪酸组成有显著影响, 并且鱼体脂肪酸的组成与饲料脂肪酸的组成有很大相关性, 其中鱼油组与菜籽油组有极显著相关性($P<0.01$), 豆油组显著相关($P<0.05$); 鱼油组的血清谷丙转氨酶、谷草转氨酶及碱性磷酸酶活性显著高于其它组($P<0.05$); 各试验组间胰岛素、皮质醇、总蛋白、白蛋白、球蛋白、白球比、血糖、胆固醇及甘油三酯均无显著差异($P>0.05$); 各组肉碱软脂酰基转移酶-I (CPT-I)、肉碱软脂酰基转移酶-II (CPT-II)、脂肪酶、乙酰辅酶 A 羧化酶(ACC)及脂蛋白脂酶(LPL)均无显著差异($P>0.05$)。因此, 日粮中添加一定量的豆油、菜籽油或亚麻油同样能取得良好的生长效果, 为以后生产中以菜籽油或亚麻油替代豆油或鱼油提供了理论依据, 节约了生产成本。

关键词: 异育银鲫; 脂肪源; 生长; 机体成分

中图分类号: S 963

文献标志码: A

异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)是中国鱼类养殖中的主要品种, 深受消费者的喜爱。脂类作为鲫的三大能源物质之一, 可比等量的蛋白质和碳水化合物提供更多的能量, 且能提供必需脂肪酸, 同时也是脂溶性维生素的载体并在维持细胞生物膜结构中起重要作用^[1]。最近几年, 油脂类原料价格上涨较快, 导致其在鱼料中的使用受到限制, 因此, 选择恰当的脂肪源和脂肪水平成为饲料生产者和鱼类营养学者的研究重点, 在不影响鱼类生长的基础上, 探讨用其他动物油和植物

油部分替代或者完全替代鱼油的可行性^[2-3]。植物油因为来源广泛和价格稳定已经成为替代鱼油的首选, 并在青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)^[4]、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)^[5]、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)^[6]、黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)^[7]、太平洋鲑(*Oncorhynchus spp.*)^[8]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[9]等方面做了一定的研究, 多数研究表明, 鱼油是鱼类优质的脂肪源, 但若日粮中添加一定量的动物或植物油替代鱼油同样可以取得良好的促生长效果; 王煜恒等^[10]也

收稿日期: 2012-01-04

修回日期: 2012-02-26

资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-46); 通威股份技术研发项目(2010A07GX)

通讯作者: 戈贤平, E-mail: gexp@ffrc.cn

研究得出,饲料中添加一定比例的豆油和猪油部分替代鱼油不但节约饲料成本,而且异育银鲫表现出较好的生长效果。关于异育银鲫饲料中适宜脂肪需求量、不同脂肪源对鱼体生长及表观消化率等指标^[10-11]已有研究报道,但是不同脂肪源对异育银鲫相关脂肪代谢酶活性及菜籽油、亚麻油作为异育银鲫饲料脂肪源等方面的研究还未见报道。本研究以鱼油、豆油、菜籽油和亚麻油作为脂肪源,探讨不同脂肪源对异育银鲫生长、体成分、脂肪酸组成及血清生化指标的影响,为今后异育银鲫配合饲料生产提供理论依据,也为鱼类饲料用脂肪源种类研究提供基础数据。

1 材料与方 法

1.1 实验鱼及养殖管理

异育银鲫采自于中国水产科学研究院淡水渔业研究中心南泉养殖实验基地。试验开始前,将异育银鲫移入可控温流水循环系统中,用沉性颗粒饲料(通威饲料公司)驯化 21 d 后,2011 年 7 月 14 日称体质量、分组,选择健康、规格、体质量基本一致[(14.33±0.02) g]的 336 尾,随机分成 4 组,每组 3 个重复,每个重复 28 尾。分别放入实验室可控温流水循环系统中的 12 个圆形蓄养槽

(820 mm×700 mm)内,每组试验所用养殖桶在空间位置上随机分散排布,减小试验组之间因光线等因素造成的误差。2011 年 7 月 15 日开始,每天按鱼体质量的 3%~4%投喂自制试验沉性颗粒饲料,每天投喂 3 次,分别于 7:00、12:00 及 17:00 各投一次,每 3 天更换循环系统内约 10%的循环水,日夜连续充气增氧、控温。整个试验期间平均水温(26.0±1.50) °C,溶氧≥6.0 mg/L,氨氮≤0.2 mg/L,亚硝酸盐≤0.2 mg/L, pH=6.8~7.0。每隔一周根据鱼体体质量增加,调整投饲量。饲养 9 周后,称体质量,量体长,采集血液和肝胰脏样品。

1.2 试验日粮

试验日粮主要原料为鱼粉、豆粕、棉粕、菜粕、米糠、面粉、豆油、菜籽油、亚麻油、鱼油、预混料等,且每千克饲料以添加 200 mg 乙氧基喹啉为标准逐级混匀到预混料中防止饲料中油脂等被氧化。饲料原料经粉碎过 40 目筛,混合均匀后用 SLP-45 小型颗粒机(中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所)加工成颗粒饲料备用,所采用的鱼油、豆油、菜籽油和亚麻油都是由通威饲料公司提供,基础饲料配方见表 1。

表 1 基础饲料配方及营养水平
Tab. 1 Basic feed formula and nutrition level

原料/% raw material	5.4%鱼油 fish oil	5.4%豆油 soybean oil	5.4%菜油 rapeseed oil	5.4%亚麻油 linseed oil	营养水平/%* nutrition levels	5.4%鱼油 fish oil	5.4%豆油 soybean oil	5.4%菜油 rapeseed oil	5.4%亚麻油 linseed oil
鱼粉 fish meal	15	15	15	15	水分 moisture	5.9	6.1	6.3	5.4
豆粕 soybean meal	20	20	20	20	粗蛋白 crude protein	36.5	36.4	36.5	35.2
菜粕 rapeseed meal	16	16	16	16	粗脂肪 crude fat	8.4	8.0	8.2	8.7
次粉 wheat middling	16.82	16.82	16.82	16.82	粗纤维 crude fiber	3.7	3.7	3.9	3.5
棉粕 cottonseed meal	16	16	16	16	粗灰分 crude ash	10.4	10.2	9.0	10.7
米糠 rice bran	5	5	5	5	钙 Ca	1.02	1.25	1.22	0.75
鱼油 fish oil	5.4				磷 P	1.11	1.46	1.39	1.23
豆油 soybean oil		5.4							
菜籽油 rapeseed oil			5.4						
亚麻油 linseed oil				5.4					
磷酸二氢钙 calcium dihydrogen phosphate	2	2	2	2					
维生素和矿物质预混料 vitamin and mineral mix	3.78	3.78	3.78	3.78					

注: 预混料(通威饲料公司)为每千克日粮提供维生素、微量元素和抗氧化剂: V_E 60 mg; V_K 5 mg; V_A 15 000 IU; V_{D3} 3 000 IU; V_{B1} 15 mg; V_{B2} 30 mg; V_{B6} 15 mg; V_{B12} 0.5 mg; 烟酸 175 mg; 叶酸 5 mg; 肌醇 1000 mg; 生物素 2.5 mg; 泛酸钙 50 mg; 铁 25 mg; 铜 3 mg; 锰 15 mg; 碘 0.6 mg; 镁 0.7 g; 乙氧基喹啉 200 mg。*为实测值。

Notes: The premix (Tongwei feed group Co.) provides vitamin, mineral and antioxidant for a kilogram of diet: V_E 60 mg, V_K 5 mg, V_A 15 000 IU, V_{D3} 3 000 IU, V_{B1} 15 mg, V_{B2} 30 mg, V_{B6} 15 mg, V_{B12} 0.5 mg, nicotinic acid 175 mg, folic acid 5 mg, inositol 1000 mg, biotin 2.5 mg, pantothenic acid 50 mg, Fe 25 mg, Cu 3 mg, Mn 15 mg, I 0.6 mg, Mg 0.7 g, ethoxyquin 200 mg. * measured values.

1.3 取样与测定方法

生物学指标测定方法 饲养试验第 64 天每缸随机抽取 3 尾鱼测定体质量、体长、内脏重、肝脏重,用于肥满度、脏体比、肝体比的测定。采样前需停喂 24 h,对每缸分别进行称重,测定每桶鱼的总体质量和尾数,计算特定生长率、增重率、饲料系数。

常规营养成分的测定方法 自鱼体两侧头盖骨后至尾鳍前取体背肌肉样品,剪碎,混匀后一部分用于常规营养成分的测定,另一部分冷冻干燥,用于脂肪酸的测定。按 GB5009-85 方法,鱼体肌肉水分含量测定采用 105 °C 烘干法;粗蛋白含量测定采用微量凯氏定氮法;粗脂肪含量测定采用全脂肪法测定;粗灰分含量测定用小火炭化后马福炉 560 °C 灼烧法。

脂肪酸分析 取部分已制备好的背肌样品用于脂肪酸分析,总脂肪酸的测定采用氯仿:甲醇:H₂O = 2:2:1 抽提总脂肪,分别用 1 mol/L KOH-甲醇和 0.5 mol/L 硫酸甲醇溶液使脂肪酸甲酯化,再用正庚烷萃取脂肪酸甲酯。样品皂化甲酯化后,直接上气相色谱—质谱仪进行分析。气相色谱—质谱分析条件:分析仪器为 Trace DSQ GC/MS 气质联用仪;色谱柱为 HP-5MS, 30 m×0.25 mm×0.25 μm。气相色谱操作条件:气化室温度 250 °C;传输线温度 280 °C。色谱柱升温程序:初温 50 °C,以 10 °C/min 升至 280 °C 并保持 10 min。进样方式:分流进样,分流比为 10:1。进样量:1 μL。质谱:EI 离子源,信增器电压:1 200 V。离子源温度:230 °C。四极杆温度:150 °C,全扫描 (SCAN) 质量范围:45~500 mau。检索 NIST 质谱图库,比较样品质谱图与图库中标准质谱图,就可以确定样品中脂肪酸种类,各脂肪酸相对含量的确定采用面积归一化法计算^[12]。

血清生理生化指标测定方法 试验正式开始后第 64 天分别从每个缸随机取异育银鲫 3 尾,MS-222 麻醉,纱布擦干尾部,一次性注射器尾静脉采血,于 4 °C 的冰箱中静置 3 h 后,在 4 000 r/min 转速下 4 °C 离心 10 min,提取血清,-70 °C 冰箱中保存备用,用于各血液生理指标的测定。碱性磷酸酶(ALP)采用上海骏实生物技术有限公司试剂盒在美国贝克曼 Cx-4 型自动生化分析仪上测定。血糖用葡萄糖氧化酶—过氧化物酶终点比色法

(美国贝克曼 Cx-4 型自动生化分析仪测定),试剂盒购自卫生部上海生物制品研究所。胆固醇,甘油三酯采用酶法(美国贝克曼 Cx-4 型自动生化分析仪测定),试剂盒来源上海名典生物工程公司。胰岛素、皮质醇测定采用放免法(RIA)进行测定,试剂盒购自北京北方生物技术研究所。

相关脂肪酶活性测定方法 肝胰脏样品解冻后加 10 倍的 4 °C 缓冲液冰浴匀浆,制成 10% 匀浆液,4 °C,2 000 r/min 离心 10 min,上清液保存于-70 °C 冰箱。肝脏上清液蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定。肉碱软脂酰基转移酶-I (CPT-I)用 CPT-I 定量检测试剂盒(ELISA)测定,肉碱软脂酰基转移酶-II (CPT-II)用 CPT-II 定量检测试剂盒(ELISA)测定,乙酰 CoA 羧化酶(ACC)用 ACC 定量检测试剂盒(ELISA)测定,脂肪酶(lipase)用 lipase 定量检测试剂盒测定,以上试剂盒均购自上海江莱生物技术有限公司;脂蛋白脂酶(LPL)用总酯酶测试盒测定,该试剂盒购自南京建成生物有限公司。

1.4 相关指标计算公式

特定生长率(%/d)=100×(Ln 末均重-Ln 初均重)/饲养天数

增重率(%)=100×(试验末鱼体均重-试验初鱼体均重)/试验初鱼体均重

饲料系数=每个缸投喂饲料总量/每个缸鱼体总增重量

肝体比(%)=100×试验末鱼体肝重/试验末鱼体质量

肥满度(%)=100×试验末鱼体质量/试验末鱼体长度³

脏体比(%)=(试验末鱼内脏重/试验末鱼体质量)×100

1.5 数据处理

试验结果采用平均值±标准误 (mean±SE) 表示,统计分析采用 SPSS 11.5 软件,用 LSD 多重比较分析试验结果的差异显著性,且进行了双变量的相关性分析,显著水平为 $P<0.05$,极显著水平为 $P<0.01$ 。

2 结果

2.1 日粮中添加不同脂肪源对异育银鲫生长及形体指标的影响

由表 2 可知,豆油组及菜籽油组的增重率显

表2 不同脂肪源对异育银鲫生长指数的影响
Tab. 2 Effect of different fat sources on growth index of *C. auratus gibelio*

组别 group	初均重/g initial weight	末均重/g final weight	增重率/% WGR	饲料系数 FCR	特定生长率/(%/d) SGR	存活率/% survival rate
5.4%鱼油 fish oil	14.41±0.06	24.96±1.06	73.21±6.64 ^b	3.8±0.69	0.87±0.06 ^b	97.78±1.50
5.4%豆油 soybean oil	14.29±0.01	27.73±0.53	94.13±3.70 ^a	2.74±0.08	1.05±0.03 ^a	97.78±1.35
5.4%菜籽油 rapeseed oil	14.35±0.06	27.82±0.28	93.93±1.54 ^a	3.03±0.34	1.05±0.01 ^a	97.78±1.52
5.4%亚麻油 linseed oil	14.29±0.01	27.29±1.37	91.06±9.56 ^{ab}	2.98±0.35	1.02±0.08 ^{ab}	95.56±1.64

注: 表中值为平均值±标准误, $n=9$ 。不同小写字母表示同一指标不同组之间 LSD 多重比较差异显著 ($P<0.05$), 以下注释同此
Notes: Values are means±SE, $n=9$. The different lowercase letters show significant differences ($P<0.05$) in different group of the same index by the LSD. The same as following.

著高于鱼油组 ($P<0.05$), 豆油组、菜籽油组及亚麻油组的增重率之间均无显著差异 ($P>0.05$); 各组之间特定生长率的变化趋势与增重率相同, 各组之间初均重、末均重、饲料系数及存活率均没有显著差异 ($P>0.05$)。

由表 3 可知, 豆油组肥满度显著低于亚麻油组及鱼油组 ($P<0.05$), 各组之间的肝体比与脏体比均没有显著差异 ($P>0.05$), 菜籽油组和鱼油组的肝体比较豆油组和亚麻油组偏高, 菜籽油组的脏体比较鱼油组、亚麻油组和豆油组偏低, 但差异均不显著。

2.2 日粮中添加不同脂肪源对异育银鲫肌肉营养成分的影响

由表 4 可知, 各组之间的水分、粗脂肪、粗蛋白及粗灰分均无显著差异 ($P>0.05$), 其中, 亚麻油组的粗脂肪、粗蛋白及粗灰分含量均高于其他组。菜籽油组的粗脂肪含量最低; 鱼油组的粗蛋白含量最低; 豆油组的粗灰分含量最低。

2.3 日粮中添加不同脂肪源对异育银鲫必需脂肪酸的影响

由表 5、表 6 可知, 亚麻油组饲料脂肪酸中亚麻酸含量显著高于其他各组, 而鱼油组 EPA 和 DHA

表3 不同脂肪源对异育银鲫形体指标的影响
Tab. 3 Effect of different fat sources on the main form and structure of *C. auratus gibelio*

组别 group	肝体比/% hepatosomatic index	肥满度/% fullness coefficient	脏体比/% viserosomatic index
5.4%鱼油 fish oil	4.71±0.25	3.00±0.04 ^b	12.03±0.21
5.4%豆油 soybean oil	3.80±0.34	2.80±0.01 ^a	11.53±0.27
5.4%菜籽油 rapeseed oil	4.83±0.22	2.95±0.04 ^{ab}	11.22±0.33
5.4%亚麻油 linseed oil	3.88±0.42	3.06±0.04 ^b	12.27±0.56

表4 不同脂肪源对异育银鲫肌肉营养成分的影响
Tab. 4 Effect of different fat sources on muscle composition of *C. auratus gibelio*

组别 group	水分/% moisture	粗脂肪/% crude lipid	粗蛋白/% crude protein	粗灰分/% crude ash
5.4%鱼油 fish oil	72.43±0.58	5.00±0.61	22.42±0.64	1.87±0.07
5.4%豆油 soybean oil	73.03±0.54	4.85±0.46	23.09±0.81	1.79±0.01
5.4%菜籽油 rapeseed oil	72.67±0.09	4.55±0.32	24.11±0.24	1.86±0.11
5.4%亚麻油 linseed oil	71.66±0.33	5.51±0.63	24.63±0.54	1.91±0.03

表5 试验饲料脂肪酸组成
Tab. 5 Fatty acid composition of experiment diet

脂肪酸组成/% fatty acid	5.4%鱼油 fish oil	5.4%豆油 soybean oil	5.4%菜籽油 rapeseed oil	5.4%亚麻油 linseed oil
C14:0	4.73	0.8	0.61	0.70
C16:0	16.69	12.68	13.00	9.44
C18:0	1.70	1.95	1.28	1.76
ΣSFA	32.12	15.43	14.89	11.9
C16:n-9	5.64	1.11	0.00	1.03
C18:n-9	22.89	31.56	39.61	24.44
C20:n-9	2.79	1.17	3.47	1.17
C22:n-9	3.29	0	4.95	0
ΣMUFA	34.61	33.84	48.03	26.64
C18:2n-6	12.66	39.3	25.51	22.18
C18:3 n-3	2.61	5.58	6.90	34.62
C20:5n-3	7.51	1.73	1.57	1.58
C22:6n-3	9.63	2.53	2.44	2.11
ΣPUFA	34.41	49.14	36.42	60.49
Σn-3	19.75	9.84	10.91	38.31
Σn-6	12.66	39.3	25.51	22.18
Σn-6/n-3	0.64	3.99	2.34	0.58
EPA+DHA	17.14	4.26	4.01	3.69

含量(17.14)最高, 但亚麻酸含量最低, 且具有一定量芥酸。各试验组肌肉中脂肪酸含量除亚油酸外其余脂肪酸均存在显著变化, 其中菜籽油组油酸含

量最高, 豆油组亚油酸含量最高, 亚麻油组亚麻酸含量最高, 是豆油组和鱼油组的 5 倍以上, 菜籽油组 EPA 和 DHA 含量最低; 另外, 由表 7 可知饲料脂肪酸组成对鱼体肌肉脂肪酸组成的影响很大, 其中鱼油组与菜油组存在极显著的相关性, 相关系数分别为 $r=0.957$ 和 $r=0.926$, 豆油组饲料脂肪酸组成和肌肉脂肪酸组成表现为显著相关性, 亚麻油脂肪酸组成与鱼体脂肪酸组成差异较大。

表 6 不同脂肪源对异育银鲫肌肉脂肪酸的影响
Tab. 6 Effect of different fat sources on essential fatty acid of *C. auratus gibelio*

脂肪酸/% fatty acid	5.4%鱼油 fish oil	5.4%豆油 soybean oil	5.4%菜籽油 rapeseed oil	5.4%亚麻油 linseed oil
C14:0	1.29±0.22 ^a	0.79±0.26 ^{ab}	0.87±0.03 ^{ab}	0.52±0.04 ^b
C16:0	19.72±0.72 ^a	19.39±0.72 ^a	16.69±0.87 ^b	17.75±0.43 ^{ab}
C18:0	5.08±0.78 ^{ab}	5.76±0.59 ^a	3.33±0.43 ^b	6.57±0.16 ^a
ΣSFA	26.09±0.75 ^a	25.94±0.82 ^a	20.89±0.78 ^b	24.32±0.80 ^a
C16:n-9	4.09±0.76 ^a	2.68±0.84 ^{ab}	3.61±0.26 ^{ab}	1.72±0.12 ^b
C18:n-9	28.23±3.6 ^a	26.73±1.78 ^a	36.08±1.49 ^b	23.34±1.08 ^a
ΣMUFA	32.32±2.82 ^{ab}	29.41±1.65 ^a	39.69±2.38 ^b	25.06±1.32 ^a
C18:2n-6	12.72±0.76	16.71±2.39	12.51±0.42	12.51±0.11
C18:3 n-3	1.44±0.1 ^a	1.77±0.27 ^a	3.09±0.13 ^b	10.09±0.29 ^c
C20:5n-3	2.89±0.31 ^b	1.82±0.49 ^a	0.89±0.12 ^a	1.82±0.14 ^a
C22:6n-3	14.06±2.93 ^a	11.64±1.63 ^{ab}	5.89±0.78 ^b	12.91±0.51 ^a
ΣPUFA	31.11±2.83 ^a	31.94±2.65 ^a	22.38±1.28 ^b	37.33±2.53 ^a
Σn-3	18.39±1.25 ^a	15.23±1.57 ^a	9.87±0.73 ^b	24.82±1.47 ^a
Σn-6	14.16±1.18 ^a	18.48±2.31 ^{ab}	15.6±2.15 ^a	22.6±1.78 ^b
EPA+DHA	16.95±1.25 ^a	13.46±1.57 ^a	6.78±0.73 ^b	14.73±1.47 ^a

表 8 不同脂肪源对异育银鲫血清生化指标的影响

Tab. 8 Effect of different fat sources on plasma parameters of *C. auratus gibelio*

指标 index	5.4%鱼油 fish oil	5.4%豆油 soybean oil	5.4%菜籽油 rapeseed oil	5.4%亚麻油 linseed oil
谷丙转氨酶/(U/L) GPT	72.67±7.39 ^a	55.35±4.23 ^b	53.60±3.38 ^b	54.68±2.75 ^b
谷草转氨酶/(U/L) GOT	922.67±67.99 ^a	580.28±41.73 ^b	569.11±33.53 ^b	496.67±41.54 ^b
皮质醇/(ng/mL) cortisol	403.36±27.79	357.59±21.65	384.02±33.3	352.06±27.33
总蛋白/(U/L) TP	33.43±0.78	33.88±1.02	34.04±0.95	33.54±0.66
白蛋白/(U/L) ALB	12.66±0.51	12.96±0.33	13.24±0.31	12.21±0.46
球蛋白/(U/L) GLB	20.78±0.61	20.92±0.69	20.8±0.72	21.33±0.3
白球比 A/G	0.61±0.03	0.62±0.01	0.64±0.01	0.57±0.02
碱性磷酸酶/(μmol/L) ALP	40.11±2.63 ^a	30.33±2.87 ^b	29.67±1.33 ^b	31.11±1.64 ^b
胰岛素/(mIU/L) insulin	1.91±0.25	1.77±0.41	1.30±0.14	1.34±0.48
血糖/(mmol/L) GLU	5.37±0.11	6.48±0.95	5.18±0.65	5.16±0.08
胆固醇/(mmol/L) CHOL	7.70±0.18	7.55±0.52	8.52±0.46	7.09±0.70
甘油三酯/(mmol/L) TG	3.38±0.35	2.96±0.09	3.54±0.19	3.22±0.28

表 7 不同脂肪源脂肪酸组成与肌肉脂肪酸组成回归分析和相关性分析

Tab. 7 Regression analysis and correlations of essential fatty acid between different fat sources and carp

组别 group	相关系数(r) related coefficient	P	R ²	线性回归方程 equation of linear regression
5.4%鱼油 fish oil	0.957	<0.01	0.917	Y=-2.317+1.283X
5.4%豆油 soybean oil	0.786	<0.05	0.618	Y=4.221+0.507X
5.4%菜籽油 rapeseed oil	0.926	<0.01	0.858	Y=1.49+0.765X
5.4%亚麻油 linseed oil	0.572	=0.108	0.327	Y=5.915+0.347X

注: Y 代表肌肉中脂肪酸; X 代表饲料中脂肪酸。
Notes: Y represent muscles fatty acids; X represent dietary fatty acids.

2.4 日粮中添加不同脂肪源对异育银鲫血清生理生化指标的影响

由表 8 可知, 鱼油组的谷丙转氨酶、谷草转氨酶及碱性磷酸酶活性显著高于其他各组 ($P<0.05$), 鱼油组皮质醇的含量高于其他试验组, 菜籽油组血清甘油三酯的含量高于其他各组 ($P>0.05$), 各组之间的胰岛素、皮质醇、总蛋白、白蛋白、球蛋白、白球比、血糖、胆固醇及甘油三酯均无显著差异 ($P>0.05$)。

2.5 日粮中添加不同脂肪源对异育银鲫脂肪代谢酶的影响

由表 9 可知, 各组之间 CPT-I、CPT-II、脂肪酶、乙酰辅酶 A 羧化酶 (ACC) 及脂蛋白脂酶 (LPL) 均无显著差异 ($P>0.05$), 而鱼油组的 CPT-I 活性及乙酰辅酶 A 羧化酶活性较其他 3 组略低。

表 9 不同脂肪源对异育银鲫脂肪代谢酶等的影响
Tab. 9 Effect of different fat sources on metabolism enzyme of fat

组别 group	肉碱软脂酰基转移 酶-I/(ng/mg prot) CPT-I	肉碱软脂酰基转移 酶-II/(ng/mg prot) CPT-II	脂肪酶/(U/g prot) Lipase	乙酰辅酶 A 羧化酶 /(ng/mg prot) ACC	脂蛋白酯酶/ (U/mg prot) LPL
5.4%鱼油 fish oil	0.19±0.02	2.91±0.08	0.30±0.03	1.37±0.21	25.78±4.64
5.4%豆油 soybean oil	0.25±0.06	4.24±0.62	0.56±0.08	2.45±0.49	20.53±3.40
5.4%菜籽油 rapeseed oil	0.37±0.21	2.17±0.09	0.43±0.11	2.39±0.79	28.44±9.82
5.4%亚麻油 linseed oil	0.26±0.09	2.32±0.17	0.45±0.11	2.00±0.47	24.84±9.93

3 讨论

3.1 日粮中添加不同的脂肪源对鱼类生长及脂肪酸组成的影响

鱼油富含不饱和脂肪酸,特别是多不饱和脂肪酸(EPA、DHA)含量高,一直以来被看作优质的脂肪源,与其他油脂相比有明显的优势^[4-6],但随着研究的深入,发现一定比例的其他脂肪源替代鱼油同样能取得良好的效果。本试验中,豆油组、菜籽油组增重率明显高于鱼油组,与冯健等^[8]和王煜恒等^[10]研究类似,分析原因可能是与海水鱼不同,淡水鱼类的必需脂肪酸为亚油酸与亚麻酸^[13],多数植物油中富含亚油酸及亚麻酸,本试验中亚油酸和亚麻酸在饲料脂肪酸中的含量豆油组、菜籽油组、亚麻油组分别为 44.88%、32.41%和 56.8%(表 5),因此,日粮中添加一定量的植物油比单一添加鱼油更容易满足淡水鱼类对必需脂肪酸的需求,从而取得较好的生长效果;各试验组中亚麻油组必需脂肪酸亚麻酸的含量最高,其含量为 34.62%,显著高于亚油酸水平(22.18%),但亚麻油组的生长速度却低于豆油组与菜油组,原因可能为在使用富含亚麻酸的植物油时,亚麻酸与亚油酸可能产生一定的拮抗作用,尤其是当两种短链不饱和脂肪酸含量接近时更为明显^[4-5];鱼油由于富含高不饱和脂肪酸被认为是鱼类饲料的最佳油脂,能促进鱼类的生长,但近年来许多研究表明鱼油对淡水鱼的促生长效果与其他油脂无明显差异甚至不如其他动植物性油脂,与本试验结果类似,这可能与鱼油组中芥酸含量过高有关。刘炜等^[6]研究结果表明,高含量芥酸能抑制鱼体生长,从而导致鱼油未表现出相应的生长效力;另外,在饲料加工及储存过程中,由于温度过高、储存不当或季节性差异等原因使饲料中添加的抗氧化剂不能很好地发挥作用而造成饲料中的高不饱和脂肪酸被氧化,生成低分子的醛、酮等有害

物质也可能是造成鱼油组生长性能不是很理想的原因之一^[14],具体原理需进一步研究。

鱼类肌肉组织中脂肪酸组成模式直接受饲料中脂肪酸模式影响^[13]。本试验研究发现,异育银鲫肌肉脂肪酸组成与饲料脂肪酸组成有很大的相关性,其中鱼油组与菜籽油组有极显著正相关性,相似系数分别为 0.957 和 0.926,饲料中鱼油组 EPA+DHA 含量最高,豆油组亚油酸含量最高,菜油组油酸含量最高,亚麻油组亚麻酸含量最高,在肌肉中存在相同的变化趋势,说明在一定程度上饲料中的脂肪酸组成决定了鱼体脂肪酸组成;另外,鱼油组,豆油组,菜籽油组,亚麻油组饲料中 EPA+DHA 含量分别为 17.14、4.26、4.01、3.69,而肌肉中 EPA+DHA 含量分别为 16.95±1.25、13.46±1.57、6.78±0.73、14.73±1.47,从中我们可以看出亚麻油组肌肉中 EPA+DHA 含量增加的最多,而各实验组饲料中添加鱼粉含量相同且亚麻油组饲料中亚麻酸含量(34.62)显著高于其他各组,因此可以认为,异育银鲫能有效利用亚麻酸通过扩链合成成长链不饱和脂肪酸^[15],这为亚麻油替代其他脂肪源提供了理论依据,具有一定的生产实践价值。

3.2 日粮中添加不同脂肪源对鱼类血清生理生化指标的影响

鱼类的血液与机体的代谢、营养状况及疾病有着密切的关系,当鱼体受到外界因子的影响而发生生理或病理变化时,必定会在血液指标中反映出来。皮质醇是鱼体重要的应激指标,鱼体处于应激状态下皮质醇会显著升高,血清中总蛋白、白蛋白浓度能准确反映机体蛋白质的吸收与代谢,血清球蛋白在一定程度上反映了机体的免疫水平^[15-16],球蛋白含量是评价机体免疫水平,特别是体液免疫水平的一个重要标志;碱性磷酸酶(ALP)在机体的非特异性免疫反应中发挥重要

作用, ALP 活性的高低可以用来判断鱼类非特异性免疫机能的强弱^[17]; 机体在正常状态下, 血清中谷草转氨酶(GOT)含量较少, 只有当含有转氨酶的组织细胞发生破坏和损害时, 其可进入血液引起血液内转氨酶活性增强, 因此, 这是可以判断机体器官是否损伤的指标之一^[18-19]。本试验中, 鱼油组谷草转氨酶明显高于其他组, 皮质醇各组间虽差异不显著, 但鱼油组均高于其他组, 说明鱼油组对鱼体肝脏等器官造成了损伤, 引起鱼体一定程度上的应激反应, 刘炜等^[6]试验发现当鱼油中含有 20%的高芥酸时, 鱼油组的肝体指数较大, 但是本试验中鱼油组饲料中芥酸(C22:1n-9)含量仅为 3.29, 而鱼油组的肝体指数却偏高, 这说明造成鱼油组肝脏受损的原因可能还与鱼油组饲料被氧化产生毒害物质相关, 这也可能是造成鱼体生长不佳的原因。各试验组总蛋白、白蛋白、球蛋白、胰岛素、血糖、甘油三酯和胆固醇均无显著差异, 意味着试验组不同脂肪源不会改变机体的免疫力和整体代谢水平。

3.3 日粮中添加不同脂肪源对鱼类脂肪代谢相关酶的影响

CPT-I、CPT-II 是肉碱转运系统重要组成酶, 是脂肪分解酶中的限速酶, 在能量代谢中起重要作用的长链脂肪酸及其辅酶 A 只有通过该转运系统才能进入线粒体基质进行 β 氧化。CPT-I 的活性受丙二酰辅酶 A 调控, 是脂肪酸吸收的限制因素^[20]; ACC 可以催化乙酰辅酶 A 生成丙二酰单酰辅酶 A 的羧化作用, 丙二酰单酰辅酶 A 作为长链脂肪酸合成的前体, 在脂肪酸的合成中作为 C₂ 单位的供体, 并且在脂肪酸的氧化中作为线粒体穿梭系统的调因子脂蛋白脂酶中的载脂蛋白 C₂ 是酯解作用中必不可少的酶^[21-22]。LPL 在脂质代谢和转运过程中起重要作用。本试验发现, 机体脂肪代谢酶与鱼体肥满度密切相关, 其中豆油组脂肪的合成限速酶 ACC 含量及脂肪分解的限速酶 CPT-II、脂肪酶含量均高于其他组, 说明异育银鲫能有效地利用豆油, 脂肪的合成及分解处于动态平衡中, 没有过多的脂肪沉积, 肥满度显著低于鱼油组、亚麻油组; 鱼油脂肪的合成限速酶 ACC 含量及脂肪分解酶限速酶 CPT-II、脂肪酶含量均低于其他组, 不利鱼体脂肪代谢, 原因可能与鱼油组饲料被氧化及含有一定量芥酸引起的

肝损伤有关, 但鱼油组饲料脂肪酸与鱼体脂肪酸的相关性较高, 效能值较高, 肥满度显著高于豆油组。

综上所述, 从异育银鲫的生长性能、体成分、血清生理生化指标及脂质代谢等数据来看, 豆油、菜籽油和亚麻油作为脂肪源, 有利于异育银鲫的生长, 且豆油组生长最好, 这为以后菜籽油或亚麻油替代豆油或鱼油提供了一定的理论基础; 另外, 本实验中, 鱼油组生长性能不如其他三组, 这可能是由于在饲料加工及储存过程中温度等原因使饲料被氧化所造成, 需要引起生产者的注意。

参考文献:

- [1] Aclanan R G. Structural homogeneity in unstaturated fatty acids of marine fish lipids [J]. Journal of Fisheries Research of Canadian, 1964, 21: 247-254.
- [2] Caballero M J, Obach A. Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Aquaculture, 2002, 214(1-4): 253-271.
- [3] Grisdale-Helland B, Ruyter G, Rosenlund A. Influence of high contents of dietary soybean oil on growth, feed utilization, tissue fatty acid composition, heart histology and standard oxygen consumption of Atlantic salmon (*Salmo salar*) raised at two temperatures [J]. Aquaculture, 2002, 207(3-4): 311-329.
- [4] 王道尊, 潘兆龙, 梅志平. 不同脂肪源饲料对青鱼生长的影响[J]. 水产学报, 1989, 13 (4): 370-374.
- [5] 刘玮, 徐萍, 任本根, 等. 不同脂肪源饲料对草鱼稚鱼生长的影响[J]. 水产学报, 1995, 19 (4): 362-365.
- [6] 刘玮, 戴年华, 任本根, 等. 不同脂肪源饲料对团头鲂稚鱼生长的影响[J]. 水产学报, 1997, 21 (S1): 44-48.
- [7] 季文娟. 饲料中不同脂肪源对黑鲟幼鱼生长和鱼体脂肪酸组成的影响[J]. 海洋水产研究, 1999, 20 (1): 70-74.
- [8] 冯健, 覃志彪. 4 种不同脂肪源对太平洋鲑生长和体组成的影响[J]. 水生生物学报, 2006, 30 (3): 256-260.
- [9] John M K, Julie L S, Kent A C. The effect of a herring diet on lipid composition, fatty acid composition, and cholesterol levels in the muscle tissue of penreared chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*)[J]. Aquaculture, 1992, 108: 309-322.
- [10] 王煜恒, 王爱民, 刘文斌, 等. 不同脂肪源对异育银鲫鱼种生长、消化率及体成分的影响[J]. 水产学报, 2010, 34 (9): 1439-1445.
- [11] 王爱民, 徐跑, 李沛, 等. 异育银鲫饲料中适宜脂肪需求量研究[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17 (6): 661-667.
- [12] 冯大为, 李八方, 赵雪, 等. 鲤鱼、鲑鱼和鳕鱼皮中脂肪酸的气相色谱-质谱(GC/MS) 分析与比较[J]. 水利

- 渔业, 2006, 26 (5): 21–23.
- [13] Nematipour G R, Gatlin D M. Effects of different kinds of dietary lipid on growth and fatty acid composition of juvenile sunshine bass, *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂ [J]. *Aquaculture*, 1993, 141: 41–154.
- [14] 叶元土. 淡水鱼类营养与饲料配制技术发展趋势与存在问题分析(下)[J]. *饲料广角*, 2005, 10: 32–36.
- [15] 张永根. 鱼对必需脂肪酸和脂类的需要量[J]. *饲料博览*, 1990, (2): 32–33.
- [16] 王爱民, 韩光明, 封功能, 等. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生产性能、营养物质消化及血液生化指标的影响[J]. *水生生物学报*, 2011, 35 (1): 80–87.
- [17] Yano T. The non-specific immune system: humoral defense[C]//Iwama G, Nakanishi T, Eds. *The fish immune system: organism, pathogen and environment*, San Diego: Academic Press, 1996:105–107.
- [18] 黄琪琰, 刘丽燕, 范丽萍. 异育银鲫溶血性腹水病的病理生理研究[J]. *水产学报*, 1992, 16 (4): 316–321.
- [19] 桂丹, 刘文斌. 不同营养添加剂对热应激异育银鲫血液生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2008, 20 (2): 228–233.
- [20] 聂国兴, 明红, 郑俊林, 等. 木聚糖酶对尼罗罗非鱼血液生化指标的影响[J]. *大连水产学院学报*, 2007, 22 (5): 361–365.
- [21] Kerner J, Hoppel C. Review: fatty acid import into mitochondria [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2000, 1486: 1–17.
- [22] Scanu A. Serum high-density lipoprotein: effect of change in structure on activity of chicken adipose tissue lipase [J]. *Science*, 1966, 153(736): 640–641.

Effect of dietary oil sources on growth performance, body composition, the serum biochemical indices, fatty acids composition and lipid metabolism of *Carassius auratus gibelio*

ZHANG Yuan-yuan^{1,2}, LIU Bo^{1,2}, GE Xian-ping^{1,2*}, LIU Wen-bin¹, XIE Jun^{1,2}, GAO Qi-ping³, GU Xi-zhang³

(1. *Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China;*

2. *Key Open Laboratory for Genetic Breeding of Aquatic Animals and Aquaculture Biology, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China;*

3. *Tongwei Group, Chengdu 610000, China)*

Abstract: This study focused on evaluating the effects of different dietary lipid sources on growth, body composition, serum biochemical indices, and activities of lipometabolism enzymes of *Carassius auratus gibelio*. The growth experiment was conducted to test four dietary lipids (soybean oil, rapeseed oil, linseed oil, and fish oil) on *C. auratus gibelio*. The fish with initial body weight (14.33±0.02) g were randomly divided into 4 groups with 3 replicates per group, fed with 5.4% of each lipid included in basic diet in a recirculation system for 63 days. The results showed that the weight gain rate and the specific growth rate of fish fed both soybean oil and rapeseed oil were significantly ($P<0.05$) higher than that of fish fed fish oil, while the condition factor of fish that fed soybean oil was significantly ($P<0.05$) lower than that of fish fed fish oil and linseed oil, and not different from that of other groups. However, the muscle moisture, the crude lipid, the crude protein, and the ash content in different tissues of *C. auratus gibelio* did not showed significant difference among the groups ($P>0.05$). Fatty acid composition of muscle in fish generally reflected the composition of the diet. There was close correlation between the fatty acid composition of fish muscle and those of experimental diets. The activities of glutamic-pyruvic transaminase (GPT), glutamic-oxalacetic transaminease (GOT), alkaline phosphatase (ALP) in the plasma of fish oil group were significantly higher than the other groups ($P<0.05$), while no significant difference was found among all treatments in insulin, cortisol, total protein (TP), albumin (ALB), globulin (GLB), A/G, glucose (GLU), cholesterol (CHOL), and triglyceride (TG) in the plasma. Furthermore, enzyme activities related to lipid metabolism (carnitine palmityl transferase-I, carnitine palmityl transferase-II, acetyl-coa carboxylase, lipoprotein lipase and so on) of crucian carp were not significantly different among all treatments. These results indicate that the diet supplemented with rapeseed oil or linseed oil in feeding *C. auratus gibelio* can also achieve good growth and provide theoretical basis for the replacement of fish oil and soybean oil, which can economize the production cost in the future.

Key words: *Carassius auratus gibelio*; oil source; growth; body composition

Corresponding author: GE Xian-ping. E-mail: gexp@ffrc.cn