

不同脂肪源对异育银鲫体脂沉积、内源酶活性和脂肪酸组成的影响

王煜恒^{1,2} 王爱民^{1*} 刘文斌² 於叶兵¹ 封功能¹ 杨文平¹ 齐志涛¹

(1. 盐城工学院海洋技术系, 江苏省沿海池塘养殖生态重点实验室, 盐城 224051;

2. 南京农业大学动物科技学院, 南京 210095)

摘要: 本试验旨在探讨饲料中不同脂肪源对异育银鲫体脂沉积、脂类代谢酶活性、消化酶活性和鱼体组织中脂肪酸组成的影响。选择尾均重(6.04 ± 0.05) g 的健康异育银鲫鱼种 525 尾, 驯养 1 周后, 随机分为 5 组, 每组 3 个重复, 每个重复 35 尾鱼。在基础饲料中分别添加 4% 的鱼油、豆油、猪油、花生油和混合油(鱼油: 豆油: 猪油 = 3 : 4 : 3), 制成 5 种等氮等能试验饲料。试验期为 60 d。结果表明, 鱼油组肝胰脏中粗脂肪含量显著低于其他各组($P < 0.05$), 各组间腹脂率以及肌肉中脂肪含量没有显著差异($P > 0.05$)。鱼油组肝胰脏脂蛋白酯酶和肝酯酶活性显著高于猪油组和花生油组($P < 0.05$), 鱼油组和豆油组肠道和肝胰脏中蛋白酶活性显著高于猪油组($P < 0.05$), 但与花生油组和混合油组无显著差异($P > 0.05$)。豆油组和混合油组肝胰脏脂肪酶活性显著高于猪油组($P < 0.05$), 且混合油组肠道脂肪酶活性显著高于猪油组($P < 0.05$), 其他各组之间没有显著差异($P > 0.05$)。各组间肝胰脏和肠道中淀粉酶活性没有显著差异($P > 0.05$), 但肠道淀粉酶活性普遍高于肝胰脏淀粉酶活性。鱼油组肌肉和肝胰脏中饱和脂肪酸(SFA)、二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)含量显著高于其他组($P < 0.05$)。异育银鲫肌肉和肝胰脏中亚油酸(C18:2n-6)含量均以豆油组最高, 鱼油组最低, 且上述 2 组间差异显著($P < 0.05$)。结果显示, 鱼油能提高肝胰脏中脂蛋白酯酶和肝酯酶的活性, 从而降低鱼体脂肪沉积, 而猪油的作用相反; 饲料中脂肪酸组成影响异育银鲫鱼体组织中脂肪酸的组成。

关键词: 异育银鲫; 脂肪源; 体脂沉积; 脂类代谢酶活性; 消化酶活性; 脂肪酸组成

中图分类号: S963

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2011)04-0604-11

脂肪不仅是鱼类能量供给和贮存的最好形式, 更重要的是可以为鱼体提供必需脂肪酸。鱼类对脂肪的利用在很大程度上是与其饲料中所含必需脂肪酸的质和量密切相关的^[1]。近年来, 由于鱼油和鱼粉供应紧张和价格的上涨以及鱼油中可能蓄积二恶英和多氯联苯类物质等因素, 迫使企业寻找替代鱼油的其他油脂^[2]。植物油中含有大量的多不饱和脂肪酸, 同时因其来源广泛和价格稳定, 已经成为替代鱼油的首选。用植物油替代鱼油会导致一些鲑鳟

类如虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[3] 和大西洋鲑鱼(*Salmo salar*)^[4] 等组织中中链不饱和脂肪酸[如二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)]含量的减少, 以及十八碳脂肪酸(如油酸、亚油酸和亚麻酸)含量的增加。国内外众多研究表明, 鱼体组织中脂肪酸组成明显受所摄食饲料油脂的脂肪酸组成模式的影响^[5-6]。目前, 不同脂肪源的比较研究在星斑川鲮(*Platichthys stellatus*)^[7] 和齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)^[8] 等众多鱼上均有报道, 但在异育银鲫上还未见相关报道。本试验旨在研究不

收稿日期: 2010-10-26

基金项目: 江苏省科技厅农业科技支撑项目(BE2009373); 盐城工学院引进人才科研项目(XKR2010056); 现代农业产业技术体系建设专项——国家大宗淡水鱼类产业技术体系资金资助(nycytx-49-21)

作者简介: 王煜恒(1985—), 男, 江苏常州人, 硕士研究生, 从事水产动物营养与饲料的研究。E-mail: yuhengy@163.com

* 通讯作者: 王爱民, 副教授, 硕士生导师, E-mail: bluesewam@ycit.cn

同脂肪源对异育银鲫体脂沉积、脂类代谢酶活性、消化酶活性和鱼体组织中脂肪酸组成的影响,为鱼类饲料理想脂肪源的开发及脂肪代谢营养调控机理的研究提供试验性参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验用异育银鲫为盐城市射阳县特种水产养殖

场当年孵化的同一批鱼,用 5% 的食盐水消毒后暂养备用。

试验选用不同的油脂作为脂肪源,试验用鱼油和猪油由盐城市殷氏饲料厂提供;试验用豆油为福临门大豆油,花生油为鲁花压榨一级花生油,两者均购自市场;混合油由上述鱼油、豆油、猪油按一定比例(鱼油:豆油:猪油=3:4:3)调配。试验油脂脂肪酸组成见表 1。

表 1 试验油脂脂肪酸组成

Table 1 The fatty acid composition of experimental lipids

%

项目 Items	鱼油 Fish oil	豆油 Soybean oil	猪油 Lard	花生油 Peanut oil	混合油 Mixed oil
C12:0	0.09	0.01	0.07	tr	0.03
C14:0	6.03	0.10	0.51	0.03	2.25
C15:0	1.07	0.01	0.03	tr	0.02
C16:0	18.20	12.96	20.23	12.46	15.55
C17:0	0.92	0.09	0.12	0.06	0.09
C18:0	3.53	5.57	5.96	3.93	5.09
C19:0	0.24	0.03	0.04	tr	0.02
C20:0	0.46	0.49	0.35	1.62	0.43
C21:0	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
C22:0	0.10	0.54	0.28	2.74	0.38
C24:0	0.02	0.12	0.06	1.07	0.09
12-Me, C14:0	0.08	0.01	0.01	tr	0.01
2-He-CPA	0.70	0.07	0.09	0.03	0.09
∑ SFA	31.73	20.02	27.76	21.95	24.06
C16:n-7	8.11	0.14	0.90	0.04	0.43
C18:2n-7	tr	0.03	0.09	tr	0.05
C16:3n-3	0.88	tr	0.01	0.03	0.01
C20:4n-3	3.71	0.04	0.09	0.02	1.05
C20:5n-3	11.67	0.33	0.23	0.16	3.25
C22:6n-3	13.35	0.03	0.02	0.01	4.01
∑ n-3	29.61	0.40	0.35	0.22	8.32
7-Me, C16:n-6	0.34	tr	tr	tr	tr
C18:2n-6	1.70	48.03	34.73	32.74	34.93
C20:4n-6	0.74	tr	0.02	tr	0.01
∑ n-6	2.78	48.03	34.75	32.74	34.94
C18:n-9	17.47	30.86	35.21	43.81	30.23
C20:n-9	3.90	0.30	0.53	0.93	0.75
C22:n-9	4.65	0.09	0.27	0.17	1.08
C24:n-9	0.48	tr	tr	tr	0.02
∑ n-9	26.50	31.25	36.01	44.91	32.08
∑ EPA + DHA	25.02	0.36	0.25	0.17	7.26

SFA:饱和脂肪酸;12-Me, C14:0:12-甲基-十四烷酸;2-He, CPA:2-己基-环丙烷羧酸;7-Me, C16:n-6:7-甲基-十六烷-6-烯酸;EPA: C20:5n-3;DHA: C22:6n-3;tr:痕量。

SFA: saturated fatty acids; 12-Me, C14:0: 12-methyl-myristic acid; 2-He, CPA: 2-hexyl-cyclopropanoic acid; 7-Me, C16:n-6: 7-methyl-6-hexadecanoic acid; EPA: eicosapentaenoic acid; DHA: docosahexaenoic acid; tr: trace.

1.2 试验饲料

根据水产标准 SC/T 1076—2004 鲫鱼配合饲料设计配方,以优质进口鱼粉、豆粕为蛋白质源,并分别以鱼油、豆油、猪油、花生油和混合油为脂肪源,配

制 5 组试验饲料,油脂的添加水平均为 4%。饲料原料均过 60 目筛,经充分混合后加工成直径为 2 mm 的颗粒饲料,自然晾干并保存于 -20 ℃ 冰箱中备用。试验饲料组成及营养水平见表 2。

表 2 试验饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)

%

项目 Items	组别 Groups				
	鱼油 Fish oil	豆油 Soybean oil	猪油 Lard	花生油 Peanut oil	混合油 Mixed oil
原料 Ingredients					
鱼粉 Fish meal	10	10	10	10	10
豆粕 Soybean meal	23	23	23	23	23
菜籽粕 Rapeseed meal	16	16	16	16	16
花生粕 Peanut meal	6	6	6	6	6
棉籽粕 Cottonseed meal	7	7	7	7	7
次粉 Wheat middlings	16	16	16	16	16
小麦麸 Wheat bran	12	12	12	12	12
鱼油 Fish oil	4				
豆油 Soybean oil		4			
猪油 Lard			4		
花生油 Peanut oil				4	
混合油 Mixed oil					4
沸石粉 Zeolite powder	1	1	1	1	1
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	2	2	2	2	2
预混料 Premix ¹⁾	3	3	3	3	3
合计 Total	100	100	100	100	100
营养水平 Nutrient levels ²⁾					
粗蛋白质 Crude protein	37.76	37.67	37.16	37.83	37.62
粗脂肪 Crude lipid	6.04	6.03	5.97	6.17	5.76
灰分 Ash	10.42	10.37	10.43	10.40	10.41
总磷 Total phosphorus	1.42	1.41	1.41	1.42	1.41
总能 Gross energy/(MJ/kg)	17.18	17.38	17.32	17.44	17.21

¹⁾ 预混料为每千克饲料提供 The premix provides following per kg of diet: VE 60 mg, VK 5 mg, VA 15 000 IU, VD₃ 3 000 IU, VB₁ 15 mg, VB₂ 30 mg, VB₆ 15 mg, VB₁₂ 0.5 mg, 烟酸 nicotinic acid 175 mg, 叶酸 folic acid 5 mg, 肌醇 inositol 1 000 mg, 生物素 biotin 2.5 mg, 泛酸钙 calcium pantothenate 50 mg, Fe 25 mg, Cu 3 mg, Mn 15 mg, I 0.6 mg, Mg 0.7 g。

²⁾ 实测值 Measured values。

1.3 试验设计与饲养管理

选择尾均重(6.04 ± 0.05) g 的健康异育银鲫鱼种 525 尾,驯养 1 周后,随机分为 5 组,每组 3 个重复,每个重复 35 尾鱼,以重复为单位放养于水族箱(直径 82 cm、水深 70 cm)中。试验期间各组分别投喂 1 种试验饲料,养殖期为 60 d。

试验采用循环养殖系统,每 5 天换水 1 次,每次

换水量为总水量的 30%。试验期每天投饲 3 次(07:00、12:00、17:00),日投饲率为 3% ~ 5%,投喂之前吸出粪便。饲料投喂持续 20 min,投喂结束 30 min 后捞出残饵,烘干称重,计算摄食量。试验用水为曝气后的自来水,水温(24 ± 3) ℃,pH 6.8 ~ 8.0,溶解氧 > 5 mg/L。养殖试验结束时,禁食 24 h 取样,测定相关指标。

1.4 检测指标与方法

1.4.1 腹脂率及脂肪含量

在每个水族箱中随机抽取 5 尾试验鱼,称重后取新鲜肌肉、肝胰脏和腹腔脂肪组织,计算腹脂率,并采用索氏抽提法测定肌肉和肝胰脏中脂肪含量。

腹脂率(%) = (腹腔脂肪组织重量/体重) × 100。

1.4.2 内源酶活性

试验结束时停食 24 h,在每个水族箱中随机抽取 5 尾试验鱼,先在低温下进行解剖,取出肠道和肝胰脏,剔除脂肪组织,用 4 °C 冷却去离子水冲洗,然后用滤纸轻轻吸干水分,放入 -20 °C 冰箱备测。

将肠道及肝胰脏解冻之后,分别准确称重,按质量体积比 1 : 9 进行冰浴匀浆,3 000 r/min 离心 10 min,收集上清液标号分装待测,24 h 内测完。

肝胰脏脂类代谢酶活性测定:脂蛋白酯酶和肝酯酶活性采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒检测,总酯酶活性为脂蛋白酯酶和肝酯酶活性之和。

肠道和肝胰脏消化酶活性测定:总蛋白酶活性采用福林 - 酚试剂法测定;淀粉酶、脂肪酶活性采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒检测。

1.4.3 鱼体组织中脂肪酸组成

在试验前,取初始鱼体的肌肉和肝胰脏各 3 g;试验结束时,每组随机抽取 5 尾试验鱼分别取上述 2 个组织各 3 g,所有样品均放入样品袋中于 -80 ~ -70 °C 超低温冰箱中保存,待分析脂肪酸组成。样品中脂肪的提取参照 Folch 等^[9]的方法,油脂的皂化及甲酯化参照 Christie^[10]方法略有改进。样品经皂化、甲酯化后,直接上气相色谱 - 质谱仪(分析仪器, Thermo Quest Trace DSQ GC/MS 气质联用仪;

色谱柱, HP-5MS, 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm) 进行分析。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,进样量为 1 μL。质谱操作条件:离子源为电子电离(EI)源,信增器电压为 1 200 V,离子源温度为 230 °C,四极杆温度为 150 °C,全扫描质量范围为 45 ~ 500 amu。检索 NIST 质谱图库,将样品质谱图与图库中标准质谱图做比较,确定样品中脂肪酸种类,各脂肪酸相对含量采用面积归一化法计算。

1.5 数据统计与分析

试验数据以平均值 ± 标准差形式表示,经 Excel 2007 初步整理后,用 SPSS 18.0 对数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA),用 Duncan 氏法进行多重比较,分析组间差异显著性程度,显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 不同脂肪源对异育银鲫肌肉和肝胰脏中脂肪含量的影响

由表 3 可知,不同脂肪源对异育银鲫腹脂率及肌肉脂肪含量的影响差异均不显著($P > 0.05$);鱼油组肝胰脏中脂肪含量显著低于其他各组($P < 0.05$),花生油组显著低于豆油组、猪油组和混合油组($P < 0.05$)。鱼油组肌肉和肝胰脏脂肪含量最低,但腹脂率为各组最高;混合油组和猪油组肌肉与肝胰脏脂肪含量高于其他组,但腹脂率低于其他组。

表 3 不同脂肪源对异育银鲫腹脂率及肌肉和肝胰脏中脂肪含量的影响(湿重基础)

Table 3 Effects of lipid sources on abdominal lipid rate and lipid content in muscle and hepatopancreas of *Carassius auratus gibelio* (wet weight basis)

项目 Items	组别 Groups				
	鱼油 Fish oil	豆油 Soybean oil	猪油 Lard	花生油 Peanut oil	混合油 Mixed oil
腹脂率 Abdominal lipid rate	1.63 ± 0.31	1.54 ± 0.43	1.50 ± 0.38	1.52 ± 0.52	1.46 ± 0.37
肌肉中脂肪含量 Lipid content in muscle	1.70 ± 0.09	1.79 ± 0.06	1.87 ± 0.08	1.77 ± 0.05	1.86 ± 0.04
肝胰脏中脂肪含量 Lipid content in hepatopancreas	1.69 ± 0.02 ^c	2.35 ± 0.06 ^a	2.38 ± 0.08 ^a	2.08 ± 0.04 ^b	2.48 ± 0.11 ^a

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

Values with different small letter superscripts in the same row mean significant difference ($P < 0.05$). The same as below.

2.2 不同脂肪源对异育银鲫内源酶活性的影响

2.2.1 不同脂肪源对异育银鲫肝胰脏脂类代谢酶活性的影响

由表4可知,鱼油组的肝胰脏脂蛋白酯酶活性最高(0.62),显著高于猪油组和花生油组($P < 0.05$);猪油组最低(0.21),显著低于鱼油组和混

合油组($P < 0.05$)。鱼油组和混合油组肝胰脏肝酯酶活性显著高于猪油组和花生油组($P < 0.05$),其中鱼油组比猪油组提高0.45 U/mg。肝胰脏总酯酶活性以鱼油组最高,混合油组次之,猪油组和花生油组较低,且显著低于鱼油组和混合油组($P < 0.05$)。

表4 不同脂肪源对异育银鲫肝胰脏脂类代谢酶活性的影响

Table 4 Effects of lipid sources on enzyme activities of lipid metabolism in hepatopancreas of *Carassius auratus gibelio*

项目 Items	组别 Groups				
	鱼油 Fish oil	豆油 Soybean oil	猪油 Lard	花生油 Peanut oil	混合油 Mixed oil
脂蛋白酯酶 Lipoprotein lipase	0.62 ± 0.13 ^a	0.42 ± 0.18 ^{abc}	0.21 ± 0.13 ^c	0.36 ± 0.20 ^{bc}	0.50 ± 0.23 ^{ab}
肝酯酶 Hepatic lipase	0.70 ± 0.25 ^a	0.45 ± 0.21 ^{ab}	0.25 ± 0.12 ^b	0.21 ± 0.09 ^b	0.55 ± 0.26 ^a
总酯酶 Total lipase	1.32 ± 0.63 ^a	0.88 ± 0.35 ^{bc}	0.48 ± 0.24 ^c	0.56 ± 0.10 ^c	1.05 ± 0.19 ^{ab}

2.2.2 不同脂肪源对异育银鲫肝胰脏和肠道消化酶活性的影响

由表5可知,鱼油组和豆油组肝胰脏和肠道蛋白酶活性显著高于猪油组($P < 0.05$),但与花生油组和混合油组无显著差异($P > 0.05$)。豆油组和混合油组肝胰脏脂肪酶活性显著高于猪油组($P <$

0.05),但与鱼油组和花生油组没有显著差异($P > 0.05$);混合油组肠道脂肪酶活性显著高于猪油组($P < 0.05$),但与鱼油组、豆油组和花生油组差异不显著($P > 0.05$)。不同脂肪源对异育银鲫肝胰脏和肠道中淀粉酶活性没有产生显著影响($P > 0.05$),但肠道淀粉酶活性普遍高于肝胰脏淀粉酶活性。

表5 不同脂肪源对异育银鲫肝胰脏和肠道消化酶活性的影响

Table 5 Effects of lipid sources on digestive enzyme activities in intestine and hepatopancreas of

Carassius auratus gibelio

项目 Items	组别 Groups				
	鱼油 Fish oil	豆油 Soybean oil	猪油 Lard	花生油 Peanut oil	混合油 Mixed oil
肝胰脏蛋白酶 Protease in hepatopancreas/(U/g)	46.53 ± 2.24 ^a	44.67 ± 3.12 ^a	38.85 ± 2.47 ^b	39.69 ± 3.23 ^{ab}	41.34 ± 2.67 ^{ab}
肠道蛋白酶 Protease in intestine/(U/g)	631.88 ± 34.07 ^a	629.96 ± 56.14 ^a	562.82 ± 55.53 ^b	592.65 ± 59.69 ^{ab}	602.66 ± 58.38 ^{ab}
肝胰脏脂肪酶 Lipase in hepatopancreas/(U/mg)	31.13 ± 3.25 ^{ab}	34.42 ± 1.85 ^a	28.26 ± 2.47 ^b	32.06 ± 1.55 ^{ab}	35.31 ± 2.67 ^a
肠道脂肪酶 Lipase in intestine/(U/mg)	29.41 ± 3.75 ^{ab}	31.67 ± 2.76 ^{ab}	27.10 ± 4.57 ^b	30.38 ± 4.12 ^{ab}	34.60 ± 5.17 ^a
肝胰脏淀粉酶 Amylase in hepatopancreas/(U/g)	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.08 ± 0.02	0.09 ± 0.04	0.09 ± 0.03
肠道淀粉酶 Amylase in intestine/(U/g)	0.25 ± 0.10	0.29 ± 0.08	0.22 ± 0.05	0.25 ± 0.09	0.24 ± 0.08

2.3 不同脂肪源对异育银鲫鱼体组织中脂肪酸组成的影响

2.3.1 不同脂肪源对异育银鲫肌肉中脂肪酸组成的影响

由表6可知,鱼油组肌肉中饱和脂肪酸(SFA)

含量显著高于其他各组($P < 0.05$),鱼油组和豆油组肌肉中单不饱和脂肪酸(MUFA)和油酸(C18:n-9)的含量显著低于花生油组和混合油组($P < 0.05$)。与初始鱼体相比,各组鱼体肌肉中MUFA的含量均有所下降。鱼体肌肉中亚油酸(C18:2n-6)和n-6

系列脂肪酸含量均以豆油组最高(分别为 28.39%、30.99%),并显著高于其他各组($P < 0.05$);均以鱼油组最低(分别为 11.63%、13.01%),并显著低于其他各组($P < 0.05$)。鱼油组肌肉中花生四烯酸(C20:4n-6)含量显著低于其他各组($P < 0.05$)。豆油组肌肉中多不饱和脂肪酸(PUPA)含量显著高于其他各组($P < 0.05$)。

与初始鱼体相比,各组鱼体肌肉中 PUFA 含量均有所增加。鱼体肌肉中 EPA(C20:5n-3)和 DHA(C22:6 n-3)含量均以鱼油组最高,且显著高于其他各组($P < 0.05$),但其他各组之间没有显著差异($P > 0.05$)。鱼体肌肉中 n-3 系列脂肪酸的含量和 n-3/n-6 的比例均以鱼油组最高,且显著高于其他各组($P < 0.05$)。

表 6 不同脂肪源对异育银鲫肌肉中脂肪酸组成的影响

Table 6 Effects of lipid sources on muscle fatty acid composition of *Carassius auratus gibelio*

%

项目 Items	初始 Initial	组别 Groups				
		鱼油 Fish oil	豆油 Soybean oil	猪油 Lard	花生油 Peanut oil	混合油 Mixed oil
C14:0	1.01	2.35 ± 0.31 ^a	0.96 ± 0.05 ^b	0.64 ± 0.12 ^b	0.54 ± 0.09 ^b	0.71 ± 0.08 ^b
C15:0	0.55	0.57 ± 0.03 ^a	0.27 ± 0.02 ^b	0.21 ± 0.03 ^b	0.23 ± 0.03 ^b	0.27 ± 0.03 ^b
C16:0	15.66	19.05 ± 0.43 ^a	15.69 ± 0.15 ^b	18.34 ± 0.22 ^a	16.56 ± 0.09 ^b	16.65 ± 0.64 ^b
C17:0	1.01	0.69 ± 0.04 ^a	0.45 ± 0.04 ^b	0.35 ± 0.03 ^b	0.42 ± 0.00 ^b	0.45 ± 0.06 ^b
C18:0	4.81	4.87 ± 0.25 ^b	5.84 ± 0.28 ^a	5.90 ± 0.14 ^a	5.57 ± 0.38 ^{ab}	5.96 ± 0.18 ^a
C19:0	0.10	0.14 ± 0.03	0.13 ± 0.03	0.09 ± 0.02	0.07 ± 0.01	0.13 ± 0.02
C20:0	0.17	0.17 ± 0.01 ^b	0.19 ± 0.02 ^b	0.13 ± 0.01 ^c	0.31 ± 0.02 ^a	0.18 ± 0.02 ^b
C22:0	0.13	0.09 ± 0.06	0.07 ± 0.01	0.07 ± 0.04	0.12 ± 0.05	0.06 ± 0.01
C24:0	tr	0.02 ± 0.00 ^b	0.03 ± 0.01 ^b	0.02 ± 0.01 ^b	0.06 ± 0.01 ^a	0.03 ± 0.01 ^b
2-He, CPA	0.81	0.67 ± 0.06 ^a	0.35 ± 0.04 ^b	0.33 ± 0.06 ^b	0.28 ± 0.03 ^b	0.28 ± 0.03 ^b
∑ SFA	24.31	28.71 ± 0.35 ^a	24.01 ± 0.37 ^c	26.11 ± 0.35 ^b	24.19 ± 0.36 ^c	24.68 ± 0.61 ^c
C16:n-7	2.71	4.67 ± 0.51 ^a	2.33 ± 0.11 ^b	2.31 ± 0.24 ^b	1.90 ± 0.26 ^b	2.00 ± 0.11 ^b
C18:n-9	38.41	24.34 ± 1.19 ^c	27.14 ± 0.36 ^b	31.27 ± 0.49 ^a	33.06 ± 1.18 ^a	33.22 ± 0.70 ^a
C20:n-9	2.98	2.99 ± 0.23 ^a	2.63 ± 0.11 ^{ab}	2.22 ± 0.04 ^b	2.66 ± 0.06 ^a	2.66 ± 0.16 ^a
C22:n-9	0.80	0.79 ± 0.11 ^a	0.26 ± 0.03 ^b	0.21 ± 0.05 ^b	0.36 ± 0.07 ^b	0.32 ± 0.04 ^b
C24:n-9	0.07	0.12 ± 0.02 ^a	0.09 ± 0.02 ^{ab}	0.06 ± 0.02 ^b	0.10 ± 0.01 ^{ab}	0.11 ± 0.02 ^{ab}
∑ MUFA	44.99	33.07 ± 1.99 ^{bc}	32.47 ± 0.34 ^c	36.07 ± 0.27 ^{ab}	38.08 ± 1.10 ^a	38.32 ± 0.67 ^a
C18:2n-5	0.08	0.09 ± 0.01 ^b	0.14 ± 0.02 ^{ab}	0.15 ± 0.02 ^{ab}	0.21 ± 0.03 ^a	0.14 ± 0.05 ^{ab}
C20:3n-7	0.76	0.42 ± 0.02 ^c	2.01 ± 0.14 ^a	1.50 ± 0.06 ^b	1.67 ± 0.21 ^{ab}	1.45 ± 0.08 ^b
C16:3n-3	0.07	0.26 ± 0.04 ^a	0.14 ± 0.01 ^b	0.10 ± 0.02 ^b	0.09 ± 0.02 ^b	0.08 ± 0.01 ^b
C20:4n-3	0.56	1.32 ± 0.13 ^a	0.25 ± 0.16 ^b	0.56 ± 0.02 ^b	0.35 ± 0.12 ^b	0.56 ± 0.04 ^b
C20:5n-3	1.64	6.30 ± 0.24 ^a	1.91 ± 0.08 ^b	1.89 ± 0.18 ^b	1.70 ± 0.10 ^b	1.76 ± 0.07 ^b
C22:6n-3	5.95	14.88 ± 1.43 ^a	6.51 ± 0.13 ^b	7.42 ± 0.26 ^b	7.41 ± 0.90 ^b	6.59 ± 0.67 ^b
∑ n-3	8.15	22.52 ± 1.54 ^a	8.66 ± 0.33 ^b	9.86 ± 0.42 ^b	9.46 ± 0.93 ^b	8.91 ± 0.70 ^b
C18:2n-6	18.51	11.63 ± 0.21 ^c	28.39 ± 0.42 ^a	21.10 ± 0.74 ^b	21.27 ± 0.86 ^b	22.44 ± 1.04 ^b
C18:3n-6	0.20	0.08 ± 0.01 ^c	0.41 ± 0.03 ^a	0.30 ± 0.05 ^b	0.35 ± 0.05 ^{ab}	0.29 ± 0.02 ^b
C20:4n-6	2.12	1.29 ± 0.20 ^b	2.18 ± 0.07 ^a	2.62 ± 0.08 ^a	2.57 ± 0.25 ^a	2.21 ± 0.19 ^a
∑ n-6	20.83	13.01 ± 0.08 ^c	30.99 ± 0.49 ^a	24.01 ± 0.72 ^b	24.18 ± 0.68 ^b	24.93 ± 0.87 ^b
∑ PUFA	29.90	36.32 ± 1.57 ^b	41.97 ± 0.53 ^a	35.66 ± 0.54 ^b	35.62 ± 0.67 ^b	35.55 ± 0.32 ^b
∑ n-3/n-6	0.39	1.73 ± 0.11 ^a	0.28 ± 0.11 ^b	0.41 ± 0.03 ^b	0.39 ± 0.05 ^b	0.36 ± 0.04 ^b

2-He, CPA: 2-己基-环丙烷基辛酸; SFA: 饱和脂肪酸; MUFA: 单不饱和脂肪酸; PUFA: 多不饱和脂肪酸; tr: 痕量。下表同。

2-He, CPA: 2-hexyl-cyclopropaneoctanoic acid; SFA: saturated fatty acids; MUFA: monounsaturated fatty acids; PUFA: polyunsaturated fatty acids; tr: trace. The same as below.

2.3.2 不同脂肪源对异育银鲫肝胰脏中脂肪酸组成的影响

由表7可知,与初始鱼体相比,各组鱼体肝胰脏中C16:0、C18:0、n-3系列脂肪酸、SFA、PUFA的含量均有所下降,而MUFA的含量则有所增加。鱼油组肝胰脏中SFA含量最高(31.63%),显著高于其他各组($P < 0.05$);花生油组最低,并显著低于其他各组($P < 0.05$)。鱼体肝胰脏中油酸和MUFA含量均以鱼油组最低,花生油组次之,且上述2组均显

著低于其他各组($P < 0.05$)。鱼体肝胰脏中亚油酸和n-6系列脂肪酸含量均以鱼油组最低,并显著低于其他各组($P < 0.05$);均以豆油组最高,并显著高于其他各组($P < 0.05$)。鱼油组肝胰脏中花生四烯酸含量显著低于其他各组($P < 0.05$),豆油组肝胰脏中PUFA含量显著高于其他各组($P < 0.05$)。鱼体肝胰脏中EPA、DHA、n-3系列脂肪酸含量和n-3/n-6的比例鱼油组均显著高于其他各组($P < 0.05$),但其他各组之间无显著差异($P > 0.05$)。

表7 不同脂肪源对异育银鲫肝胰脏中脂肪酸组成的影响

Table 7 Effects of lipid sources on fatty acid composition in hepatopancreas of *Carassius auratus gibelio*

%

项目 Items	初始 Initial	组别 Groups				
		鱼油 Fish oil	豆油 Soybean oil	猪油 Lard	花生油 Peanut oil	混合油 Mixed oil
C14:0	0.40	2.16 ± 0.40 ^a	0.74 ± 0.08 ^b	0.83 ± 0.03 ^b	0.76 ± 0.08 ^b	0.92 ± 0.11 ^b
C15:0	0.47	0.54 ± 0.08 ^a	0.22 ± 0.03 ^b	0.21 ± 0.02 ^b	0.24 ± 0.04 ^b	0.25 ± 0.05 ^b
C16:0	26.20	21.66 ± 0.64 ^a	17.56 ± 1.11 ^b	20.04 ± 0.48 ^a	17.93 ± 0.67 ^{ab}	17.81 ± 0.81 ^{ab}
C17:0	2.80	1.21 ± 0.18 ^a	0.60 ± 0.16 ^b	0.60 ± 0.06 ^b	0.75 ± 0.05 ^b	0.61 ± 0.05 ^b
C18:0	9.62	5.35 ± 0.39 ^b	6.52 ± 0.31 ^a	6.22 ± 0.22 ^{ab}	5.74 ± 0.33 ^{ab}	5.55 ± 0.28 ^{ab}
C19:0	0.11	0.16 ± 0.03 ^a	0.07 ± 0.02 ^b	0.09 ± 0.01 ^b	0.05 ± 0.01 ^b	0.07 ± 0.02 ^b
C20:0	0.14	0.14 ± 0.01 ^b	0.12 ± 0.01 ^b	0.11 ± 0.00 ^b	0.21 ± 0.02 ^a	0.13 ± 0.01 ^b
C22:0	0.07	0.02 ± 0.01 ^b	0.05 ± 0.00 ^b	0.03 ± 0.00 ^b	0.13 ± 0.03 ^a	0.04 ± 0.00 ^b
2-He, CPA	0.38	0.37 ± 0.05 ^a	0.21 ± 0.05 ^b	0.27 ± 0.03 ^{ab}	0.23 ± 0.07 ^{ab}	0.23 ± 0.04 ^{ab}
∑SFA	40.28	31.63 ± 0.66 ^a	26.10 ± 1.26 ^{bc}	28.39 ± 0.34 ^b	26.10 ± 0.83 ^{bc}	25.63 ± 0.92 ^c
C16:n-7	1.02	4.46 ± 0.42 ^a	2.06 ± 0.08 ^b	2.55 ± 0.18 ^b	2.08 ± 0.36 ^b	2.43 ± 0.12 ^b
C18:n-9	0.02	23.62 ± 0.86 ^c	27.55 ± 0.69 ^b	31.41 ± 1.09 ^a	33.35 ± 0.83 ^a	33.01 ± 0.46 ^a
C20:n-9	2.76	2.90 ± 0.08 ^a	2.28 ± 0.10 ^b	2.23 ± 0.12 ^b	2.31 ± 0.13 ^b	2.22 ± 0.10 ^b
C22:n-9	0.24	0.58 ± 0.13 ^a	0.11 ± 0.03 ^b	0.11 ± 0.01 ^b	0.17 ± 0.05 ^b	0.23 ± 0.04 ^b
C24:n-9	0.51	0.08 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.01 ^b	0.05 ± 0.01 ^b	0.04 ± 0.01 ^b
∑MUFA	4.56	31.71 ± 1.04 ^b	32.22 ± 0.81 ^b	36.32 ± 1.00 ^a	37.95 ± 0.76 ^a	37.92 ± 0.49 ^a
C20:3n-7	1.53	0.37 ± 0.08 ^c	1.69 ± 0.01 ^a	1.64 ± 0.09 ^a	1.74 ± 0.01 ^a	1.29 ± 0.09 ^b
C18:2n-5	0.07	0.02 ± 0.01 ^b	0.04 ± 0.01 ^{ab}	0.06 ± 0.02 ^a	0.05 ± 0.01 ^{ab}	0.05 ± 0.01 ^{ab}
C16:3n-3	0.01	0.22 ± 0.07	0.12 ± 0.02	0.13 ± 0.01	0.12 ± 0.03	0.13 ± 0.02
C20:4n-3	8.34	1.13 ± 0.22 ^a	0.46 ± 0.06 ^{bc}	0.27 ± 0.13 ^{bc}	0.15 ± 0.04 ^c	0.54 ± 0.03 ^b
C20:5n-3	2.19	6.00 ± 0.31 ^a	1.50 ± 0.09 ^b	1.55 ± 0.12 ^b	1.23 ± 0.08 ^b	1.42 ± 0.06 ^b
C22:6n-3	18.35	15.28 ± 0.67 ^a	8.69 ± 0.34 ^b	7.60 ± 0.78 ^{ab}	7.85 ± 0.54 ^{ab}	6.51 ± 0.71 ^b
∑n-3	28.89	22.62 ± 0.70 ^a	10.77 ± 0.28 ^b	9.54 ± 1.02 ^b	9.35 ± 0.59 ^b	8.60 ± 0.72 ^b
C18:2n-6	18.50	11.46 ± 0.33 ^c	24.82 ± 1.18 ^a	20.60 ± 0.62 ^b	20.15 ± 0.96 ^b	23.41 ± 1.25 ^{ab}
C18:3n-6	0.05	0.05 ± 0.01 ^c	0.32 ± 0.03 ^{ab}	0.30 ± 0.02 ^b	0.42 ± 0.07 ^a	0.31 ± 0.03 ^{ab}
C20:4n-6	3.21	1.29 ± 0.15 ^c	3.13 ± 0.31 ^a	2.59 ± 0.21 ^{ab}	3.09 ± 0.25 ^a	2.17 ± 0.25 ^b
∑n-6	21.76	12.79 ± 0.36 ^c	28.27 ± 0.90 ^a	23.49 ± 0.44 ^b	23.65 ± 0.90 ^b	25.89 ± 1.05 ^{ab}
∑PUFA	52.25	35.80 ± 0.33 ^b	40.77 ± 0.77 ^a	34.71 ± 0.68 ^b	34.78 ± 0.74 ^b	35.81 ± 0.37 ^b
∑n-3/n-6	1.33	1.77 ± 0.10 ^a	0.38 ± 0.02 ^b	0.41 ± 0.05 ^b	0.39 ± 0.03 ^b	0.34 ± 0.04 ^b

3 讨论

3.1 不同脂肪源对异育银鲫体脂沉积的影响

鱼类从饲料中获取脂肪,经过同化作用将其变为体脂沉积下来。饲料中添加不同的脂类会影响动物对脂肪的消化吸收和利用,从而影响动物体脂的沉积速度和沉积量,且对于体脂中脂肪酸的组成有着一定的影响。赵华等^[11]认为动物体内脂肪的沉积是脂肪合成和降解 2 方面作用的综合结果,机体通过控制这 2 方面的酶的活性和基因表达来调节体脂的沉积。Takada 等^[12]发现小鼠饲料中添加 PUFA 能够通过抑制一些脂酶的活性使脂肪合成减少,促进脂肪降解,减少体脂沉积;还发现 EPA 和 DHA 较双不饱和脂肪酸(18:2n-3)能更有效的抑制脂肪酸合成酶的活性,而 SFA 不影响其活性^[13]。此外,PUFA 能提高脂肪酸氧化酶活性,从而降低体脂沉积^[11]。

曹俊明等^[14]研究了饲料中添加不同脂肪酸对草鱼肝胰脏脂质含量的影响,结果表明,饲料中添加亚油酸或亚麻酸以及 n-3 HUFA 能不同程度地降低草鱼肝胰脏的脂质含量。朱大世^[15]试验发现,与猪油组、豆油组和脱脂组相比,鱼油组草鱼肌肉中脂肪含量最低,表明饲料中添加富含 PUFA 特别是 HUFA 的油脂可以降低鱼类的体脂含量。本试验结果与上述结果相似,即鱼油组肌肉和肝胰脏中脂肪含量为各组中最低,猪油组和花生油组较高。这可能是与鱼油中 HUFA 含量较高导致脂肪合成酶活性降低、脂肪酸氧化酶活性提高,从而使得体脂沉积减少有关。腹腔中沉积了大量的脂肪组织,油脂种类对各组织中脂肪含量影响较小,主要影响腹腔脂肪组织沉积的重量占鱼体的比重,即腹脂率。本试验发现,鱼油组腹脂率为各组中最高,猪油组较低,推测可能异育银鲫在消化吸收脂肪后首先被肌肉和肝胰脏蓄积,其余的才会以腹脂的形式堆积体内,这正好与鱼油组和猪油组肌肉和肝胰脏中脂肪沉积情况相符。

3.2 不同脂肪源对异育银鲫内源酶活性的影响

肝胰脏是鱼类进行脂肪酸 β -代谢和调节脂肪蓄积的主要器官,其脂肪分解酶主要包括脂蛋白脂酶和肝脂酶,上述 2 种酶合称为总脂酶。脂蛋白脂酶是一种糖蛋白,存在于多种细胞和组织中,能够水解富含甘油三酯的脂蛋白,产生游离脂肪酸^[16]。Shomomuar 等^[17]研究发现,PUFA 能提高小鼠脂蛋

白脂酶活性,促进脂肪的氧化率,降低体脂沉积。本试验发现,鱼油组和混合油组肝胰脏脂蛋白脂酶活性较高,这可能是上述 2 组饲料中 PUFA 特别是 HUFA 含量高于其他组饲料所致。肝脂酶在肝细胞中合成,可作为配体促进低密度脂蛋白和乳糜微粒残粒进入肝细胞,并直接参与高密度脂蛋白胆固醇的逆转运和高密度脂蛋白残粒的分解^[18]。本试验发现,鱼油组和混合油组肝胰脏肝脂酶活性显著高于猪油组和花生油组。关于脂肪酸对肝脂酶的影响还未见报道,推测其原因可能与脂蛋白脂酶相似。

鱼类消化酶活性的高低能直接反映其对营养物质的消化吸收能力,提高鱼体的消化酶活性就能提高鱼对营养物质的消化能力,鱼对营养物质的吸收也会随之增加。鱼类肝胰脏是生成脂肪酶的主要器官,而消化系统的各个部分均存在脂肪酶的活动^[19]。本试验结果显示,猪油组肝胰脏和肠道中脂肪酶活性都是最低的,混合油组为各组中最高,其他 3 组相近。Rajsa 等^[20]研究发现,增加饲料中 PUFA 含量会增加胰脂肪酶的转录和 mRNA 含量。Menoyo 等^[21]研究发现,饲料中饱和脂肪酸 C16:0 和 C18:0 的含量较高时会导致罗非鱼对脂肪甚至干物质的消化率降低。本试验中猪油组饱和脂肪酸 C16:0 和 C18:0 含量高于其他组可能是导致其脂肪酶活性低的原因。本试验结果显示,鱼油组和豆油组肝胰脏和肠道中蛋白酶活性显著高于猪油组,但与其他 2 组无显著差异,此外,肝胰脏中蛋白酶活性普遍低于肠道中蛋白酶活性。周景祥等^[22]研究表明,鱼类肝胰脏主要分泌蛋白酶原,进入肠道后由肠激酶激活,从而促进肠道对食物蛋白质的消化吸收。本试验中肝胰脏中蛋白酶活性普遍低于肠道中蛋白酶活性可能与肝胰脏中蛋白酶以酶原形式存在以致活性较低有关。猪油对蛋白酶的抑制作用目前尚不清楚,具体原因有待进一步研究。倪寿文等^[23]对草鱼、鲤、鲢、鳙和尼罗罗非鱼的研究认为,淀粉酶主要由散布于肝胰脏内的胰组织产生,并且在肠道中被进一步激活。本试验发现,异育银鲫肠道中淀粉酶活性明显高于肝胰脏中淀粉酶活性,这可能是由于肠液对其激活所致,这与陈勇等^[24]研究结果相似。同时,本试验还发现不同脂肪源对鱼类肝胰脏和肠道的淀粉酶活性没有产生显著影响。

3.3 不同脂肪源对异育银鲫鱼体组织中脂肪酸组成的影响

鱼体组织中脂肪酸组成在很大程度上受饲料中

的脂肪酸成分的影响,并在一定程度上能反映饲料中的脂肪酸组成,这在凡纳滨对虾^[25]和星斑川鲷^[7]等水产动物上均有报道。本试验结果显示,鱼体肌肉和肝胰脏中脂肪酸组成与相应油脂的脂肪酸组成密切相关,鱼油组鱼体组织中 EPA 和 DHA 的含量高于其他组,豆油组中 n-6 系列脂肪酸的含量较高,猪油组 SFA 含量高于花生油、豆油组和混合油组,花生油组和混合油组与相应饲料脂肪酸组成相似。

Sargent 等^[26]研究认为, C16:0 和 C18:0 是所有已知有机体都可以自身合成的脂肪酸。Ibeas 等^[27]研究认为 C16:0、C18:0 和 C18:n-9 等饱和及单不饱和脂肪酸不但可作为组织中的能量物质,而且也是细胞膜磷脂的组成成分,虽然也受饲料中脂肪酸含量的影响,但一般差别不大。本试验发现,各组鱼体肌肉和肝胰脏中 C16:0、C18:0 和 C18:n-9 的含量丰富,是异育银鲫主要的能量来源,饲料脂肪酸组成的对其影响不显著,与上述研究结论相符。在淡水鱼类营养中, n-3 和 n-6 系列脂肪酸都是非常重要的营养因子,淡水鱼能分别将 C18:2n-6、C18:3n-3 转化成长链的 n-6、n-3 系列脂肪酸^[28]。在本试验中, C18:2n-6 在鱼油中含量最低,在豆油中含量最高,在其他几种油脂中的含量也在鱼油中含量的 2 倍以上。比较鱼体各组织器官中 C18:2n-6 的含量,发现其与饲料所用油脂的脂肪酸含量存在对应关系,说明饲料油脂的脂肪酸组成影响鱼体中 C18:2n-6 的沉积,鱼油组鱼体可利用的 C18:2n-6 较少,因而导致各器官中沉积含量较低,而豆油组则正好相反。此外,本试验还发现,鱼体组织中 C20:4n-6 的含量与饲料中 C18:2n-6 含量也存在对应关系, C18:3n-6 作为 C18:2n-6 转化到 C20:4n-6 的中间产物,其含量明显受饲料中 C18:2n-6 含量的影响,这表明异育银鲫能将 C18:2n-6 通过 β -氧化或者去饱和后再延长的方法转化成长链 n-6 系列脂肪酸。

淡水鱼类不能自身合成 EPA 和 DHA,有些鱼类可以将 C18:3n-3 转化为 C20:5n-3,再转化为 C22:6n-3,但一般转化率较低。本试验结果显示,所用油脂中含有少量短链 n-3 系列脂肪酸和 C20:4n-3 时,鱼体肝胰脏和肌肉中该系列脂肪酸含量虽少但与初始鱼体相比有明显增加,这说明异育银鲫具有一定的利用短链 n-3 系列脂肪酸的能力。此外,异育银鲫体内的 HUFA 主要还是通过直接吸收利用饲料中 EPA 和 DHA 沉积到各组织器官中,本试验中各组织中 DHA 含量明显高于 EPA,这表明银鲫

对 DHA 的利用能力要大于 EPA。Sargent 等^[26]认为 DHA 能够比 EPA 更容易被鱼体选择性的保留,因为鱼类通过过氧化氢酶体方式而不是线粒体 β -氧化方式(该方法在鱼体内较难进行)来利用 EPA 的。分析本试验结果发现,异育银鲫各组织器官中 EPA 和 DHA 含量在鱼体消耗很慢,这可能与其在体内以磷脂的形式存在并作为结构脂肪酸发挥作用有关。此外,从人类消费来看,鱼类营养价值与肌肉中高不饱和脂肪酸(HUFA)的含量密切相关, HUFA 含量高则品质高。本试验中,鱼油组鱼体各组织中 EPA 和 DHA 含量要高于其他各组,表明鱼油组鱼体品质要优于其他各组。

4 结 论

① 饲料中添加鱼油能提高异育银鲫肝胰脏中脂蛋白脂酶和肝脂酶的活性,从而降低鱼体脂肪沉积;而猪油能抑制肝胰脏中脂蛋白脂酶和肝脂酶的活性并降低肠道和肝胰脏脂肪酶活性,使得鱼体对脂肪利用率下降,导致其肌肉和肝胰脏中脂肪含量升高。

② 饲料中脂肪酸组成影响异育银鲫鱼体各组织中脂肪酸的组成,使用猪油和植物油替代鱼油会降低鱼体 EPA 和 DHA 含量,从而影响鱼体品质。

参考文献:

- [1] STICKNEY R R. Lipid requirement of some warm water species[J]. Aquaculture, 1989, 79:145-156.
- [2] LUNDEBYE A K, BERNTSEN M H G, LIE Ø, et al. Dietary uptake of dioxins (PCDD/PCDFs) and dioxin-like PCBs in Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2004, 10:199-207.
- [3] GREENE D H S, SELIVONCHICK D P. Effects of dietary vegetable, animal and marine lipids on muscle lipid and hematology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1990, 89:165-182.
- [4] WAAGBØ R, SANDNES K O, SANDVIN A, et al. Chemical and sensory evaluation of fillets from Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed three levels of n-3 polyunsaturated fatty acids and two levels of vitamin E [J]. Food Chemistry, 1993, 46:361-366.
- [5] 高淳仁,雷齐霖.不同脂肪源对真鲷幼鱼生长、存活及体内脂肪酸组成的影响[J].中国水产科学,1999, 6(3):55-60.
- [6] BOBBAN S, REBECCA L, STEVEN R, et al. Effect

- of dietary lipid source on the growth, tissue composition and hematological parameters of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Aquaculture*, 2006, 255:210 – 222.
- [7] SANG M L, JONG H L, KYOUNG D K. Effect of dietary essential fatty acids on growth, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*) [J]. *Aquaculture*, 2003, 225: 269 – 281.
- [8] 向泉,陈建,周兴华,等. 5 种脂肪源对齐口裂腹鱼生长性能及血清生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2010,22(2):498 – 504.
- [9] FOLCH M, LEES M, STANLEY G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 1957, 226:497 – 509.
- [10] CHRISTIE W W. A simple procedure for rapid transmethylation of glycerolipids and cholesteryl esters[J]. *Journal of Lipid Research*, 1982, 23:1072 – 1075.
- [11] 赵华,王康宁. 多不饱和脂肪酸对动物体脂沉积及其基因表达的影响[J]. *动物营养学报*,2004,16(1): 1 – 5.
- [12] TAKADA R, SAITON M, MORI T. Dietary γ -linolenic acid-enriched oil reduces body fat contentment and induces liver enzyme activities relating to fatty acid β -oxidation in rats [J]. *Journal of Nutrition*, 1994, 124:469 – 474.
- [13] CLARKE S D, ARMSTRONG M K, JUMP D B. Dietary polyunsaturated fats uniquely suppress rat liver fatty acid synthase and S14 mRNA content[J]. *Journal of Nutrition*, 1990, 120:225 – 231.
- [14] 曹俊明,刘永坚,劳彩玲,等. 饲料中不同脂肪酸对草鱼组织脂质含量和脂肪酸构成的影响[J]. *动物营养学报*,1997,9(3):36 – 44.
- [15] 朱大世. 饥饿和不同脂肪源对草鱼体脂含量及脂肪酸合成酶的影响[D]. 硕士学位论文. 武汉:华中农业大学,2005.
- [16] AUWERX J, LEROY P, SCHOONJANS K. Lipoprotein lipase: recent contributions from molecular biology [J]. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 1992, 29:243 – 268.
- [17] SHOMOMUAR Y, TANURA T, SUZUKI M. Less body fat accumulation in rats fed a safflower oil diet than in rats fed a beef tallow diet[J]. *Journal of Nutrition*, 1990, 120:1291 – 1296.
- [18] CHOI S Y, GOLDBERG I J, CURTISS L K, et al. Interaction between ApoB and hepatic lipase mediates the uptake of ApoB-containing lipoproteins[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1998, 273(32):20456 – 20462.
- [19] DASK M, TRIPATHI D. Studies on the digestive enzyme of grass carp[J]. *Aquaculture*, 1991, 92: 21 – 32.
- [20] RAJSA F, GAUTIER A, BADIY I, et al. Polyunsaturated fatty acyl coenzyme a suppress the glucose-6-phosphatase promoter activity by modulating the DNA binding of hepatocyte nuclear factor 4[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2002, 277:15736 – 15744.
- [21] MENOYO D, LOPEZ-BOTE C J, BAUTISTA J M, et al. Growth, digestibility and fatty acid utilization in large Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed varying levels of n-3 and saturated fatty acids [J]. *Aquaculture*, 2003, 225:295 – 307.
- [22] 周景祥,陈勇,黄权,等. 鱼类消化酶的活性及环境条件的影响[J]. *北华大学学报:自然科学版*,2001,2(1):70 – 73.
- [23] 倪寿文,桂远明,刘焕亮. 草鱼、鲤、鲢、鳙和尼罗罗非鲫淀粉酶活性的比较研究[J]. *大连水产学院学报*, 1992,7(1):24 – 31.
- [24] 陈勇,周洪琪. 三种多糖对异育银鲫肠道、肝胰脏蛋白酶和淀粉酶活性的影响[J]. *上海水产大学学报*, 2005,14(4):468 – 471.
- [25] 刘穗华,曹俊明,黄燕华,等. 饲料中不同亚麻酸/亚油酸比对凡纳滨对虾幼虾生长性能和脂肪酸组成的影响[J]. *动物营养学报*,2010,22(5):1413 – 1421.
- [26] SARGENT J, TOCHER D R, BELL J G. The lipids [M]//HALVER J E. *Fish nutrition*. 2nd ed. London: Academic Press, 2002:181 – 257.
- [27] IBEAS C, CEJAS J R, GOMEZ T, et al. Influence of dietary n-3 HUFA levels on juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*) growth and tissue fatty acid composition[J]. *Aquaculture*, 1996, 142:221 – 235.
- [28] BELL M V, HENDERSON R J, SARGENT J R. The role of polyunsaturated fatty acids in fish[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1986, 83B:711 – 719.

Effects of Lipid Sources on Body Lipid Deposition, Endogenous Enzyme Activities and Fatty Acid Composition of *Carassius auratus gibelio*

WANG Yuheng^{1,2} WANG Aimin^{1*} LIU Wenbin² YU Yebing¹
FENG Gongneng¹ YANG Wenping¹ QI Zhitao¹

(1. Department of Ocean Technology, Yancheng Institute of Technology, Key Laboratory of Aquaculture and Ecology of Coastal Pool of Jiangsu Province, Yancheng 224051, China; 2. College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: This study was conducted to evaluate the effects of different dietary lipid sources on body lipid deposition, fatty acid composition, and activities of lipid metabolism enzymes and digestive enzymes of *Carassius auratus gibelio*. Five hundred and twenty-five healthy *Carassius auratus gibelio* with an average initial weight of (6.04 ± 0.05) g were randomly divided into 5 groups with 3 replicates per group and 35 fish per replicate. Five experimental diets were formulated to contain 4% lipid originated from fish oil, soybean oil, lard, peanut oil and mixed oil (fish oil : soybean oil : lard = 3 : 4 : 3), respectively. The feeding trial lasted for 60 days. The results showed as follows: lipid content in hepatopancreas of fish oil group was significantly lower than that of the other groups ($P < 0.05$); whereas, no significant difference was observed in abdominal lipid rate and muscle lipid content among all groups ($P > 0.05$). The activities of lipoprotein lipase and hepatic lipase in hepatopancreas of fish oil group were significantly higher than those of lard and peanut oil groups ($P < 0.05$). Protease activity in intestine and hepatopancreas of fish oil and soybean oil groups was significantly higher than that of lard group ($P < 0.05$), but not significantly different from that of the rest groups ($P > 0.05$). Hepatopancreas lipase activity of soybean oil and mixed oil groups was significantly higher than that of lard group ($P < 0.05$), and the intestine lipid activity of mixed oil group was significantly higher than that of lard group ($P < 0.05$), but no significant difference was observed among other groups ($P > 0.05$). No significant difference was observed in intestine and hepatopancreas amylase activities among all the groups ($P > 0.05$), but the amylase activity in intestine was generally higher than that in hepatopancreas. The contents of saturated fatty acid (SFA), eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) in muscle and hepatopancreas of fish oil group were significantly higher than those of the other groups ($P < 0.05$). In addition, the highest linoleic acid content in muscle and hepatopancreas was found in soybean oil group while the lowest in fish oil group, and significant difference was found between the above two groups ($P < 0.05$). The results indicate that fish oil can enhance the activities of hepatopancreas lipoprotein lipase and hepatic lipase of *Carassius auratus gibelio* with relatively low body lipid deposition as a consequence, whereas the effects of the lard are on the opposite; and the fatty acid composition in tissues of *Carassius auratus gibelio* is influenced by dietary fatty acid composition. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(4) :604-614]

Key words: *Carassius auratus gibelio*; lipid sources; body lipid deposition; activities of lipid metabolism enzymes; activities of digestive enzymes; fatty acid composition

* Corresponding author, associate professor, E-mail: bluesewam@ycit.cn