

不同脂肪源对异育银鲫种生长、消化率及体成分的影响

王煜恒^{1,2}, 王爱民^{1,2*}, 刘文斌^{1*}, 於叶兵², 韩光明², 臧 畅²

(1. 南京农业大学动物科技学院, 江苏 南京 210095;

2. 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, 江苏 盐城 224051)

摘要: 为了探讨不同脂肪源对异育银鲫生长、消化率和体成分的影响, 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种等氮试验饲料, 饲喂均重为(6.04±0.05)g的异育银鲫60d。结果表明, 混合油组的增重率、特定增长率(SGR)显著高于鱼油组和猪油组($P<0.05$), 但与其他组无显著差异($P>0.05$); 蛋白质效率(PER)、饲料系数(FCR)各组间均无显著性差异($P>0.05$); 豆油组的肠体比显著高于鱼油组和猪油组($P<0.05$); 猪油组的肝体指数(HSI)显著高于鱼油组($P<0.05$), 猪油组的内脏指数显著高于混合油组($P<0.05$); 不同脂肪源对肥满度的影响不显著($P>0.05$); 鱼体肌肉中水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分和磷各组间差异不显著($P>0.05$); 猪油组肝脏中粗脂肪含量显著高于鱼油组和花生油组($P<0.05$); 肝脏中粗蛋白鱼油组和豆油组显著高于猪油组和花生油组($P<0.05$); 猪油组粗蛋白和粗脂肪的表观消化率显著低于其他各组($P<0.05$)。研究结果显示, 当豆油和花生油单独添加时, 与添加鱼油组表现出相似的生长性能、表观消化率和体成分, 而单独添加猪油, 鱼体对营养物质的消化率不如其他油脂。建议生产上鱼油、豆油和猪油混合添加, 使得油脂中各种脂肪酸的比例适中, 不但节约了饲料成本, 而且异育银鲫表现出较好的生长效果。

关键词: 异育银鲫; 脂肪源; 生长; 表观消化率; 体成分

中图分类号: S 963

文献标识码: A

脂肪是水产动物生长所需能量的主要来源, 除了为鱼类提供自身所不能合成的必需脂肪酸外, 脂肪还是脂溶性维生素的载体, 其中磷脂和胆固醇在维持细胞生物膜结构中起重要作用^[1]。不同油脂的脂肪酸组成有较大差异, 同时由于鱼类不同的种类、不同的生长阶段对脂肪源的利用效果也不同, 选择恰当的脂肪源和脂肪水平, 能节约蛋白质, 降低饲料成本, 减少环境污染。受资源限制, 最近几年鱼油价格上涨很快, 饲料生产者和鱼类营养学者正致力于鱼类对脂肪的营养需求的研究, 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。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。在必需脂肪酸得到满足的情况

下, 用植物油部分或者全部替代鱼油是有可能的, 特别是在淡水鱼类上^[2-3]。

目前在对黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)^[4]、施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)^[5]的研究中发现n-3和n-6系列多不饱和脂肪酸对鱼类具有明显的促生长作用, 尤其是高度不饱和脂肪酸(HUFA)中如C20:5n-3(EPA)和C22:6n-3(DHA)的促生长效果更好; 而在日本鲈(*Lateolabrax japonicus*)^[6]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[7]的试验中不同脂肪源未对鱼类的生长性能产生显著影响。饲料中n-3 HUFA通过同步调控脂肪合成与分解两个过程影响黑鲷幼鱼脂肪代谢^[8]。异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)饲料中适宜脂肪需求量已有研究报道^[9], 但是不同脂肪源对异育银鲫生长、表观消

收稿日期:2010-04-16 修回日期:2010-07-13

资助项目:江苏省科技厅农业科技支撑项目(BE2009373); 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)

通讯作者:王爱民, E-mail: bluesawam@ycit.cn; 刘文斌, E-mail: wblu@njau.edu.cn

化率等影响的研究还未见报道。本试验旨在通过研究不同脂肪源对异育银鲫生长、表观消化率和体成分的影响,为异育银鲫配合饲料生产提供理论依据,并为鱼类饲料用脂肪源种类和用量研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验鱼

异育银鲫为盐城市射阳县某池塘当年孵化的同一批鱼,体重(6.04 ± 0.05)g,选择体质健壮的

鱼 525 尾,用 5% 的食盐水消毒后暂养备用。

1.2 试验饲料

根据异育银鲫的营养需要设计配方(表 1),以优质进口鱼粉、豆粕为蛋白源,优质鱼油、豆油、猪油、花生油和混合油(鱼油:豆油:猪油 = 3:4:3)为脂肪源,鱼油和猪油由饲料厂提供,豆油和花生油购自市场,饲料原料均过 60 目筛,油脂的添加水平为 4%。配制成 5 组试验饲料,经充分混合后加工成直径 2 mm 的颗粒饲料,自然晾干并保存于 4 °C 冰箱中备用。

表 1 试验饲料配方及营养成分含量(干重)
Tab. 1 Feed formulation and nutrient levels of trial diets(DM) %

原料 ingredients	鱼油组 fish oil	豆油组 soybean oil	猪油组 lard	花生油组 peanut oil	混合油组 mixed oil
鱼粉 fish meal	10	10	10	10	10
豆粕 soybean meal	23	23	23	23	23
菜粕 rapeseed meal	16	16	16	16	16
花生粕 peanut meal	6	6	6	6	6
棉粕 cottonseed meal	7	7	7	7	7
次粉 wheat middlings	16	16	16	16	16
麸皮 wheat bran	12	12	12	12	12
油脂 oils	4	4	4	4	4
沸石粉 zeolite powder	1	1	1	1	1
磷酸二氢钙 dicalcium phosphate	2	2	2	2	2
预混剂* premix	3	3	3	3	3
营养成分** proximate composition					
粗蛋白 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
粗灰分 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(kJ/g) gross energy	17.18	17.38	17.32	17.44	17.21

注: * 预混料为每千克日粮提供维生素和微量元素: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 1 000 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。 ** 实测值。

Notes: * the premix provides vitamin and mineral 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 1 000 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. ** Measured values.

1.3 试验设计与饲养管理

选择 525 尾健康异育银鲫鱼种,驯养 1 周后,随机分为 5 组,每组 3 个重复,共 15 个水族箱,每个水族箱 35 尾鱼,分别投喂试验饲料,饲养 60 d。

试验采用循环养殖系统(水族箱尺寸:直径 82 cm,水深 70 cm),每 5 天换水一次,每次换水量为总水量的 30%。试验期每天投饲 3 次(7:00,12:00,17:00),日投饲率为 10%~15%,投喂之前吸出粪便,饲料投喂持续 20 min,投喂结束后 30 min,捞出残饵、烘干称重,计算残饵。试

验用水为曝气后的自来水,水温(24 ± 3)°C, pH 6.8~8.0,溶解氧>5 mg/L。

饲养试验结束时停食 24 h,对各组的试验鱼进行称重,计算增重率和特定生长率。统计每组饲料的投喂总量以及残饵量,计算饵料系数。测定鱼体肌肉中粗蛋白、粗脂肪、粗灰分和磷含量。

1.4 试验指标检测及计算方法

鱼体生长及饵料系数、蛋白质效率的测定分析
增重率(WGR,%) = $(W_t - W_0) / W_0 \times 100$
特定增长率(SGR,%/d) = $[\ln(W_t) - \ln(W_0)] / t$

×100

饵料系数(FCR) = $F / (W_t - W_0)$

蛋白质效率(PER, %) = $(W_t - W_0) \times 100 / (F \times P)$

式中, W_0 为试验开始时鱼体重(g); W_t 为试验结束时鱼体重(g); F 为饲料摄入量(g); P 为饲料中粗蛋白含量(%), t 为饲养天数(d)。

鱼体形体指标、肌肉营养物质的测定 养殖试验结束, 饥饿 24 h 后, 每个重复组中随机抽取 3 尾异育银鲫, 并逐尾称取体重、肝脏重和空壳重, 测量体长和肠长, 计算异育银鲫的肥满度、肝胰脏指数、脏体比和肠长比。取异育银鲫的背部肌肉, 用于测定肌肉的营养成分。粗蛋白采用凯氏微量定氮法, 粗脂肪采用索氏抽提法, 水分采用烘干法, 灰分采用马福炉灼烧法, 磷测定采用钼黄比色法。

肠体比 = 肠道长度 / 体长

肝胰脏指数(%) = 肝胰脏重 / 体重 × 100

肥满度(%) = 体重 / 体长³ × 100

脏体指数(%) = 内脏重 / 体重 × 100

脂肪酸分析 总脂肪酸的测定^[10] 采用氯仿: 甲醇: $H_2O = 2: 2: 1$ 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 - 质谱分析条件如下: 分析仪器: Trace DSQ GC/MS 气质联用仪; 色谱柱: 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。

营养物质表观消化率测定 异育银鲫饲养试验结束后, 投喂在试验组饲料基础上含 0.3% Cr_2O_3 指示剂的饲料, 收集粪便, Cr_2O_3 含量采用湿式化学定量法测定, 计算营养物质表观消化率^[11]。分别采用 105 °C 常压干燥法、凯氏定氮法、索氏提取法及钼黄比色法等方法, 测定饲料和粪便中的水分、粗蛋白、粗脂肪、磷的含量。

干物质的表观消化率(%) = $100 - 100 \times \text{饲料中 } Cr_2O_3 \text{ 的含量} / \text{粪便中 } Cr_2O_3 \text{ 的含量}$

粗蛋白表观消化率(%) = $100 - (100 \times \text{饲料中 } Cr_2O_3 \text{ 的含量} \times \text{粪便中粗蛋白含量}) / (\text{粪便中 } Cr_2O_3 \text{ 的含量} \times \text{饲料中粗蛋白含量})$

粗脂肪表观消化率(%) = $100 - (100 \times \text{饲料中 } Cr_2O_3 \text{ 的含量} \times \text{粪便中粗脂肪含量}) / (\text{粪便中 } Cr_2O_3 \text{ 的含量} \times \text{饲料中粗脂肪含量})$

磷表观消化率(%) = $100 - (100 \times \text{饲料中 } Cr_2O_3 \text{ 的含量} \times \text{粪便中总磷含量}) / (\text{粪便中 } Cr_2O_3 \text{ 的含量} \times \text{饲料中总磷含量})$

1.5 数据统计与分析

原始数据经 Excel 2003 初步整理后, 用 SPSS 18.0 对数据进行单因子方差分析(One-Way ANOVY), 用 Duncan 氏多重比较分析组间差异显著性程度, 显著水平为 ($P < 0.05$)。数据用平均值 ± 标准差(mean ± SD) 形式表示。

2 结果与分析

2.1 饲料脂肪酸的组成

由表 2 可以看出鱼油组饲料中 n-3 系列的不饱和脂肪酸明显高于其他饲料组, 且长链高不饱和脂肪酸(EPA 和 DHA) 特别丰富, 同时其他各组也存在一定量长链高不饱和脂肪酸。豆油组中饲料中亚油酸(C18:2n-6) 含量最丰富, 鱼油组较其他各组都低(15.31%)。猪油组饲料未像其他研究中所描述的含有大量饱和脂肪酸, 相反其脂肪酸组成与花生油组相似, 另外该饲料中 C16:0 和 C18:0 的含量为各组中最高。介酸(C22:n-9) 一般在菜籽油中含量较大, 对鱼体生长起到一定的阻碍作用, 现发现鱼油组饲料中该物质含量是其他组的多倍。

2.2 不同脂肪源对异育银鲫生长性能的影响

由表 3 可知, 不同脂肪源对增重率的影响差异显著, 混合油组的增重率显著高于鱼油组和猪油组($P < 0.05$), 豆油组增重率也显著高于猪油组($P < 0.05$), 鱼油组、豆油组和花生油组的增重率无显著差异($P > 0.05$)。各试验组特定生长率的情况和增重率相同。不同脂肪源对蛋白质效率和饵料系数都无显著影响($P > 0.05$)。混合油组蛋白质效率(1.36) 最高, 豆油组次之, 猪油组(1.27) 最低; 猪油组的饵料系数(2.70) 与其他各组相比, 为各组最高。

表 2 试验饲料脂肪酸组成
Tab. 2 Fatty acid composition of experiment diets

指标 index	鱼油组 fish oil	豆油组 soybean oil	猪油组 lard	花生油组 peanut oil	混合油组 mixed oil
C14: O	4.71	0.75	1.10	1.02	1.26
C15: O	0.81	0.06	0.10	0.10	0.13
C16: O	17.4	14.53	19.88	15.68	17.19
C17: O	0.72	0.20	0.18	0.16	0.19
C18: O	3.74	4.43	5.42	4.06	4.56
C20: O	0.44	0.33	0.37	1.18	0.40
C21: O	0.04	0.06	0.02	0.03	0.04
C22: O	0.20	0.33	0.31	1.97	0.37
C24: O	0.13	0.11	0.15	0.86	0.17
2-He, CPA	0.65	0.05	0.15	0.16	0.25
Σ SFA	28.24	20.85	27.58	25.18	24.36
7-Me, C16: n-6	0.26	tr	0.01	0.02	0.02
C16: n-7	6.44	1.04	1.76	1.47	1.85
C18: n-9	19.8	29.65	30.01	31.03	27.56
C20: n-9	2.87	0.36	0.68	0.96	0.81
C22: n-9	3.11	0.05	0.29	0.21	0.76
C24: n-9	0.46	0.03	0.07	0.07	0.09
Σ MUFA	32.94	31.13	32.82	33.76	31.09
C16: 3n-3	0.68	0.12	0.16	0.24	0.26
C17: 6n-3	0.1	tr	0.03	0.02	0.02
C20: 4n-3	2.55	0.45	0.51	0.52	0.57
C20: 5n-3	8.84	1.82	1.24	2.41	2.63
C22: 6n-3	9.25	2.13	1.5	1.62	2.79
C18: 2n-6	14.37	42.75	34.16	34.53	36.45
C18: 3n-6	0.12	0.05	0.19	0.25	0.22
C20: 4n-6	0.55	0.07	0.1	0.1	0.11
Σ PUFA	36.48	47.39	38.76	39.7	44.1
Σ n-3	21.42	4.52	3.44	4.81	5.17
Σ n-6	15.3	43.87	34.46	34.9	37.8
Σ n-6/n-3	0.71	9.48	10.02	7.26	7.31
Σ EPA + DHA	18.09	3.95	2.74	4.03	5.42

注: 2-He, CPA 为 2-己基-环丙烷辛酸, 7-Me, C16: n-6 为 7-甲基-十六烷-9-烯酸, tr 表示痕量。

Notes: tr means trace.

表 3 不同脂肪源对异育银鲫生长性能的影响
Tab. 3 Effect of different lipid sources on growth performance of *C. auratus gibelio*

指标 index	鱼油组 fish oil	豆油组 soybean oil	猪油组 lard	花生油组 peanut oil	混合油组 mixed oil
初重(g) initial weight	6.04 ± 0.04	6.03 ± 0.04	6.04 ± 0.05	6.05 ± 0.01	6.09 ± 0.05
末重(g) final weight	24.17 ± 0.25 ^b	24.72 ± 0.38 ^{ab}	23.90 ± 0.19 ^b	24.29 ± 0.18 ^{ab}	25.18 ± 0.21 ^a
增重率(%) weight gain	300.10 ± 1.86 ^{bc}	311.10 ± 5.09 ^{ab}	297.50 ± 5.07 ^c	301.62 ± 2.47 ^{abc}	314.86 ± 1.48 ^a
特定生长率(%) specific growth ratio	2.24 ± 0.01 ^{bc}	2.28 ± 0.02 ^{ab}	2.23 ± 0.02 ^c	2.24 ± 0.01 ^{abc}	2.29 ± 0.01 ^a
蛋白质效率率 protein efficiency ratio	1.32 ± 0.03	1.35 ± 0.02	1.27 ± 0.06	1.32 ± 0.02	1.36 ± 0.09
饲料系数 feed conversion ratio	2.56 ± 0.09	2.53 ± 0.05	2.70 ± 0.12	2.58 ± 0.04	2.59 ± 0.08

注: 同行上标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。以下各表注同。

Notes: Values with different small letter superscripts in the same column mean significant difference ($P < 0.05$). The same as following.

2.3 不同脂肪源对异育银鲫形体指标和肝脏指数的影响

豆油组肠长与体长比显著高于鱼油和猪油组 ($P < 0.05$),与花生油组和混合油组无显著差异。鱼油组肝体指数显著低于其他各组 ($P < 0.05$),

其中猪油组的肝体指数最高(5.35%)(表4)。猪油组的脏体指数比混合油组高了1.96% ($P < 0.05$),与鱼油组、豆油组和花生油组相比,分别提高了1.54%、1.50%、1.23%。各试验组之间肥满度没有显著差异。

表4 不同脂肪源对异育银鲫形体指标和内脏指数的影响

Tab.4 Effect of different lipid sources on figure and visceral index of *C. auratus gibelio*

指标 index	鱼油组 fish oil	豆油组 soybean oil	猪油组 lard	花生油组 peanut oil	混合油组 mixed oil
肠体比 intestinal length/body length	3.07 ± 0.28 ^b	3.31 ± 0.22 ^a	3.05 ± 0.28 ^b	3.16 ± 0.15 ^{ab}	3.16 ± 0.15 ^{ab}
肝体指数(%) hepatosomatic index(HSI)	4.60 ± 0.37 ^b	5.21 ± 0.77 ^{ab}	5.35 ± 0.70 ^a	5.15 ± 0.62 ^{ab}	5.13 ± 0.91 ^{ab}
肥满度(%) condition factor	3.18 ± 0.10	3.35 ± 0.15	3.22 ± 0.15	3.34 ± 0.19	3.24 ± 0.29
脏体指数(%) viscero-somatic index(VSI)	16.30 ± 2.58 ^{ab}	16.34 ± 1.64 ^{ab}	17.84 ± 1.28 ^a	16.61 ± 1.59 ^{ab}	15.80 ± 1.35 ^b

2.4 不同脂肪源对异育银鲫肌肉营养成分的影响

猪油组肌肉中粗蛋白含量为各组中最低仅为18.78%,鱼油组中粗蛋白为最高(19.02%),但各组之间无显著差异。肌肉中粗脂肪含量是猪油组为各组中最高(1.87%),猪油组次之,鱼油组的粗脂肪最低。鱼油组肝脏中粗脂肪含量最低

(1.69%),显著低于其他各组 ($P < 0.05$),花生油组粗脂肪也显著低于豆油组、猪油组和混合油组 ($P < 0.05$)(表5)。肝脏中粗蛋白含量鱼油组显著高于猪油组和混合油组 ($P < 0.05$),与豆油组和花生油组没有显著差异。不同脂肪源对异育银鲫肌肉中水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分和总磷的影响差异不显著 ($P > 0.05$)。

表5 不同脂肪源对异育银鲫肌肉和肝脏成分的影响

Tab.5 Effect of different lipid sources on the muscle and liver composition of *C. auratus gibelio* %

指标 index	鱼油组 fish oil	豆油组 soybean oil	猪油组 lard	花生油组 peanut oil	混合油组 mixed oil
肌肉水分 moisture	76.77 ± 0.30	76.74 ± 0.35	76.54 ± 0.65	76.72 ± 0.44	76.51 ± 0.62
肌肉粗蛋白 crude protein	19.02 ± 0.32	18.88 ± 0.37	18.78 ± 0.31	18.89 ± 0.43	18.96 ± 0.14
肌肉粗脂肪 crude lipid	1.70 ± 0.09	1.79 ± 0.06	1.87 ± 0.08	1.77 ± 0.05	1.86 ± 0.04
肌肉粗灰分 ash	1.43 ± 0.05	1.43 ± 0.05	1.39 ± 0.05	1.43 ± 0.05	1.41 ± 0.06
肌肉总磷 total phosphorus	0.25 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.26 ± 0.01
肝脏粗脂肪 crude lipid	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
肝脏粗蛋白 crude protein	7.22 ± 0.14 ^a	6.90 ± 0.08 ^{ab}	6.79 ± 0.13 ^b	6.89 ± 0.09 ^{ab}	6.78 ± 0.12 ^b

2.5 不同脂肪源对异育银鲫表观消化率的影响

不同脂肪源对异育银鲫粗蛋白和粗脂肪的表观消化率有显著影响 ($P < 0.05$),猪油组粗蛋白的消化率为各组中最低(80.06%),且显著低于鱼油、豆油和花生油组 ($P < 0.05$)(表6)。猪油

组粗脂肪表观消化率最低(90.97%),显著低于混合油组 ($P < 0.05$),鱼油组、豆油组和花生油组之间无显著差异。不同脂肪源对干物质和总磷的表观消化率的影响差异不显著 ($P > 0.05$),但猪油组的消化率都较其他组稍低。

表6 不同脂肪源对营养物质表观消化率的影响

Tab.6 Effect of different lipid sources on feed apparent digestibility of *C. auratus gibelio* %

指标 index	鱼油组 fish oil	豆油组 soybean oil	猪油组 lard	花生油组 peanut oil	混合油组 mixed oil
干物质 dry matter	64.78 ± 2.80	65.04 ± 4.77	60.68 ± 3.43	63.67 ± 1.55	63.05 ± 2.13
粗蛋白 crude protein	82.31 ± 0.38 ^a	82.67 ± 0.76 ^a	80.06 ± 1.36 ^b	82.73 ± 0.81 ^a	81.47 ± 1.68 ^{ab}
粗脂肪 crude lipid	92.58 ± 0.29 ^{ab}	92.56 ± 0.37 ^{ab}	90.97 ± 0.31 ^b	92.61 ± 0.37 ^{ab}	94.39 ± 1.17 ^a
总磷 total phosphorus	20.17 ± 0.16	19.85 ± 0.47	19.55 ± 0.27	20.16 ± 0.36	19.82 ± 0.14

3 讨论

本试验中,不同脂肪源对增重率和特定生长率产生了显著影响,混合油组显著大于猪油组和鱼油组($P < 0.05$),但其他各组间无显著差异;各组间蛋白质效率和饵料系数均无显著差异($P > 0.05$)。从本试验各组饲料脂肪酸组成(表2)发现,鱼油组富含 n-3 系列脂肪酸、EPA 和 DHA;豆油组 C18:2n-6 含量丰富;猪油组、花生油组和混合油组其组成大体相似。高不饱和脂肪酸一般在鱼油中含量较大,植物油和猪油中含量较少,但本试验中其他各组饲料均检测到 EPA 和 DHA 的存在,这可能与饲料中添加 10% 的鱼粉有关。

在对青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)^[12]、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)^[13]、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)^[14]的研究中表明不同脂肪源对鱼类的生长有显著影响,鱼油促进青鱼生长效果最好,而从总体生长效果来看,鱼油和混合油(鱼肝油 1/3 + 豆油 1/3 + 猪油 1/3)是草鱼的最适脂肪源。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,但本试验中鱼油组的生长性能不是很理想,可能与鱼油组中芥酸含量过高有关,刘炜等^[14]研究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。脂肪源对鱼类生长产生的影响是由其脂肪酸的种类和比例造成的,鱼类必需脂肪酸包括亚油酸(18:2n-6)、亚麻酸(18:3n-3)和花生四烯酸(20:4n-6)等。刘炜等^[13]用不同脂肪源投饲草鱼稚鱼,其试验结果显示不同脂肪源对草鱼稚鱼生长的影响,很大程度上与各组饲料中脂肪酸、尤其是高不饱和脂肪酸的差异有关。本试验中豆油组中 C18:2n-6 含量高于花生油组,而 n-3 系列脂肪酸和 C20:4n-6 低于后者,豆油组的增重率高于花生油组,可以认为异育银鲫对 C18:2n-6 需求大于其他必需脂肪酸。猪油组虽然也含有大量 C18:2n-6,但是饱和脂肪酸(SFA)含量较高,HUFA 的含量又较低,所以导致其增重率显著低于混合油组。

试验发现,不同脂肪源对异育银鲫的形体指标和内脏指数产生了影响。豆油组肠体比显著高于鱼油组和猪油组,但是其他各组之间无显著差异。这说明豆油能更好地促进异育银鲫的肠道发育。吉红等^[15]实验发现豆油组和菜油组的肠长

与体长比高于混合油组,认为混合油组抑制了鲫消化道发育。从试验鱼的肝体指数可以看出,鱼油组显著低于猪油组,但是其他各组间差异不显著。刘炜等^[14]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)含量较其他各组都高,该组肝体指数却低于其他组。鱼油组的肥满度最低(3.18),且显著低于豆油组和花生油组;其他 4 组之间无显著差异。对于本试验中鱼油组中肝体指数和肥满度最低的现象,有可能与鱼油组饲料中芥酸(C22:1n-9)的含量(3.11%)偏高有关,致使鱼油中高度不饱和脂肪酸(EPA 和 DHA)的促生长等优势没有体现出来。但是从生长性能来看,芥酸并未对对鱼体产生严重损害,可以认为鱼体对饲料中芥酸有一定的自我承受力,但含量过高则会抑制生长和损伤肝脏^[16]。

从鱼体组成来看,异育银鲫肌肉中水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分和磷的含量各组之间没有显著差异。鱼油组中粗蛋白含量最高(19.02%),但与其他各组之间无显著差异。王道尊等^[12]报道,用鱼油、牛油、豆油和玉米油 4 组试验饲料经 7 周喂养后对青鱼肌肉生化成分测定发现鱼油组肌肉中蛋白质(干物质)含量增加最多为 11.04%,这与本试验结果相似,说明鱼油有利于鱼体蛋白质的合成和积累。各试验组鱼体肌肉粗脂肪含量无显著性差异,但鱼油组粗脂肪含量为各组中最低;混合油组和猪油组与鱼油组相反,肌肉中粗脂肪含量高于其他组。冯健等^[17]用为鱼油、大豆油、大豆磷脂和玉米油饲喂太平洋鲑,同样也发现其他各组肌肉中脂肪含量不同程度高于鱼油组。这说明混合油和猪油等脂肪源对于肌肉中脂肪沉积的能力并不低于鱼油。猪油组肝脏中脂肪含量最高,患脂肪肝的风险加大;鱼油组肝脏中脂肪含量最低,同时其肝体指数也最低,说明鱼油对肝脏确有保护作用。以上结果说明不同脂肪源对鱼体品质的影响不大,但是鱼油更有利于鱼体蛋白质的积累。

不同脂肪源因其脂肪酸组成不同,鱼类对其消化吸收能力也不同。Bendiksen 等^[18]研究发现随着饲料中植物油含量的增加,蛋白质的消化率也升高,本试验中豆油组和花生油组蛋白质的消化率高于其他组,证实了该结论。不同脂肪源对大西洋庸鲽(*Hippoglossus hippoglossus* L.)^[19]的

研究结果显示家禽油粗脂肪的消化率要低于植物油(亚麻子油、芥花油、向日葵油),可能与该饲料中 n-6 FA/n-3 FA 的比率高于其他组有关,另外该试验所用的家禽油饱和脂肪酸含量不是很高(27.7%),本试验所用猪油和其相似,同样粗脂肪消化率表现为各组最低。在目前的相关研究中发现,日粮中饱和脂肪酸 C16:O 和 C18:O 的含量很高时会导致动物对脂肪甚至干物质的消化率降低^[20-21]。猪油组干物质、磷等表观消化率低于其他组,可能与饲料中这两种含量过高有关,由于该组饲料的消化率较低,所以饵料系数都高于其他组。不同脂肪源对表观消化率影响的研究有很多相关的报道,如虹鳟^[6]、澳大利亚鳗(*Anguilla australis*)^[22]等,主要研究集中在具体脂肪酸的消化率,本试验由于粪便收集的量不够,所以没有对粪便进行脂肪酸分析,具体脂肪酸的消化率数据也缺少,需要另外进行研究。

综上所述,从异育银鲫的生长性能、体成分和表观消化率数据来看,豆油和花生油单独添加时,其效力并不比鱼油差;而单独添加猪油,鱼的消化率不如其他油脂。当鱼油、豆油和猪油混合添加时,各种脂肪酸的比例适中,不但节约了饲料成本,而且异育银鲫也表现出较好的生长效果。

参考文献:

- [1] Sargent J R, Bell J G, McEvoy L, *et al.* Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish[J]. *Aquaculture*, 1999, 177: 191-199.
- [2] Raso S, Anderson T A. Effect of dietary fish oil replacement on growth and carcass proximate composition of juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) [J]. *Aquaculture Research*, 2003, 34: 813-819.
- [3] Tocher D R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish[M]. *Reviews in Fisheries Science*, 2003, 11: 107-184.
- [4] 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.
- [5] 高露姣, 陈立侨. 不同脂肪源饲料对施氏鲟幼鱼生长的影响[J]. *海洋渔业*, 2004, 26(3): 210-214.
- [6] Xue M, Luo L, Wu X F, *et al.* Effects of six alternative lipid sources on growth and tissue fatty acid composition in Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) [J]. *Aquaculture*, 2006, 260: 206-214.
- [7] Caballeroa M J, Obachb A, Rosenlundb G, *et al.* Izquierdoa 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: 253-271.
- [8] 马晶晶, 邵庆均, 许梓荣, 等. n-3 高不饱和脂肪酸对黑鲟幼鱼生长及脂肪代谢的影响[J]. *水产学报*, 2009, 33(4): 640-649.
- [9] 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.
- [10] 冯大伟, 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.
- [11] Erland A, Trond S, Magny S T, *et al.* Evaluation of selected trivalent metal oxides as inert markers used to estimate apparent digestibility in salmonids [J]. *Aquaculture*, 2000, 188: 65-78.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 吉红, 单世涛, 扈翔, 等. 豆油和菜油对鲫生长、体成分及血清生化指标的影响[J]. *水生生态学杂志*, 2009, 2(1): 64-68.
- [16] 张立实, 谭茵, 欧阳雁丽, 等. 高芥酸菜籽油对大鼠肝组织脂肪酸氧化功能的影响[J]. *营养学报*, 1991, 13(2): 108-113.
- [17] 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.
- [18] Bendiksen E Å, Berg O K, Jobling M, *et al.* Digestibility, growth and nutrient utilisation of Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.) in relation to temperature, feed fat content and oil source [J]. *Aquaculture*, 2003, 224: 283-299.
- [19] Dulce A M, Luisa M P V, Santosh P L. Apparent digestibility of lipid and fatty acids in fish oil, poultry fat and vegetable oil diets by Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L [J]. *Aquaculture*, 2009, 294: 132-137.
- [20] 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.
- [21] Ng W K, Sigholt T, Bell J G. The influence of environmental temperature on the apparent nutrient and fatty acid digestibility in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed finishing diets containing different blends of fish oil, rapeseed oil and palm oil [J]. *Aquaculture Research*, 2004, 35:1228–1237.
- [22] Rasanthi M G, Khunnitee L, Sena S D S. Lipid and fatty acid digestibility of three oil types in the Australian shortfin eel, *Anguilla australis* [J]. *Aquaculture*, 2002, 203:335–347.

Effects of dietary oil sources on growth performance, apparent digestibility and body composition of *Carassius auratus gibelio*

WANG Yu-heng^{1,2}, WANG Ai-min^{1,2*}, LIU Wen-bin^{1*},
YU Ye-bing², HAN Guang-ming², ZANG Yang²

(1. College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. Key Laboratory of Aquaculture and Ecology of Coastal Pool of Jiangsu Province, Department of Ocean Technology, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China)

Abstract: The objective of this study was to determine the impact of dietary lipid sources on growth, body composition and apparent digestibility of *Carassius auratus gibelio* [initial weight: (6.04 ± 0.05) g]. 5 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. Weight gain and protein efficiency ratio (PER) of fish fed mixed oil was significantly ($P < 0.05$) higher than that of fish fed fish oil and lard, but not different from that of other groups. No significant difference was found among all treatments in specific growth rate (SGR) and feed conversion ratio (FCR). Mesenteric length/length of fish fed soybean oil was significantly ($P < 0.05$) higher than that of fish fed fish oil and lard. Hepatosomatic index (HSI) of fish fed lard was significantly ($P < 0.05$) higher than that of fish fed fish oil. However, visceralsomatic index (VSI) of fish fed lard was significantly ($P < 0.05$) higher than that of fish fed mixed oil. However, no significant difference was observed among all treatments in muscle moisture, protein, lipid, ash and phosphorus content. Liver lipid content of fish fed lard was significantly ($P < 0.05$) higher than that of fish fed fish oil and peanut oil, and liver protein content of fish fed fish oil and soybean oil were significantly ($P < 0.05$) higher than that of fish fed lard and peanut oil. Apparent protein and lipid digestibility of fish fed lard were significantly ($P < 0.05$) lower than that of other groups. The results of this study there was no significant difference on growth performance and body composition of *C. auratus gibelio* when soybean oil, peanut oil and fish oil were used solely. It also suggested that fish oil, soybean oil and lard could be mixed together as a better oil source for *C. auratus gibelio*, which not only reduced feed costs but also enhanced fish growth.

Key words: *Carassius auratus gibelio*; dietary lipid source; growth performance; apparent digestibility; body composition

Corresponding author: WANG Ai-min. E-mail: bluesewam@ycit.cn; LIU Wen-bin. E-mail: wbliu@njau.edu.cn