

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2011.00988

不同脂肪源对异育银鲫的生长、体组成和肌肉脂肪酸的影响

陈家林^{1,2} 韩冬¹ 朱晓鸣¹ 杨云霞¹ 解绶启^{1,3}

(1. 中国科学院水生生物研究所, 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 上海高校 E-研究院, 上海 200025)

摘要: 配制了十种等氮等能的饲料饲喂 3.53 g 的异育银鲫幼鱼 12 周, 探讨异育银鲫对不同脂肪源的利用效果。十种饲料中分别添加 8% 的鱼油(FO)、椰子油(CNO)、玉米油(CO)、亚麻油(LO)、大豆油(SO)、菜籽油(RO)、1:1 鱼油-椰子油(FCNO)、1:1 鱼油-玉米油(FCO)、1:1 鱼油-亚麻油(FLO)和 1:1:1 鱼油-椰子油-玉米油-亚麻油混合油(MIX)。每组饲料三个平行, 每个平行 30 尾。实验在循环水养殖系统中进行, 水温控制在(24±1)℃。结果表明, 在单一脂肪源中, 豆油组和椰子油组的增重率最高, 其次是菜籽油组, 鱼油、玉米油和亚麻油组的增重率最低。与相应的单一脂肪源相比, 饲料中鱼油与椰子油、玉米油或亚麻油 1:1 混合后使用提高了异育银鲫的生长。摄食不同脂肪源饲料的异育银鲫血清生化指标、各组织的水分和脂肪含量差异不明显($P>0.05$)。肌肉脂肪酸与饲料脂肪源呈明显正相关。摄食豆油和菜籽油饲料的鱼体肌肉中 20:4n-6 较高, 而摄食亚麻油饲料的鱼则含有较高的 20:5n-3 和 22:6n-3, 表明异育银鲫具有转化 18:2n-6 和 18:3n-3 为高不饱和脂肪酸的能力。从实验可以看出, 豆油、椰子油和菜籽油是异育银鲫饲料中良好的脂肪源。

关键词: 异育银鲫; 脂肪源; 生长; 肌肉脂肪酸

中图分类号: S965.117 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2011)06-0988-10

鱼油含有 EPA、DHA 等高不饱和脂肪酸(HUFA)且被鱼类较好利用, 是传统的水产饲料的主要脂肪源。全球水产养殖的快速增长导致鱼油需求量加大, 有限的鱼油产量将不能满足水产养殖的需要, 价格飞涨。因此, 为维持水产养殖的持续发展, 降低饲料成本, 迫切需要寻找合适的脂肪源替代鱼油^[1]。

植物油脂产量巨大, 而且其价格相对鱼油稳定低廉, 是一种潜在的甚至是唯一的能替代鱼油的脂肪源^[2,3]。很多研究也证明了植物油, 如大豆油、亚麻油、菜籽油、橄榄油、棕榈油、玉米油等在水产饲料中的良好应用^[4]。

不同脂肪源的脂肪酸组成差别较大, 对鱼类代谢影响不一, 而不同鱼类的利用方式和能力也有差别^[5,6]。Thomassen, *et al.*^[7]报道摄食豆油、低或高芥酸菜籽油饲料的大西洋鲑 *Salmo salar* 的生长和存活

与毛鳞鱼油组相近。而斑点叉尾鲷 *Ictalurus punctatus* 对鱼油和动物油脂的利用强于植物油^[8,9]。Stickney, *et al.*^[10]在奥利亚罗非鱼 *Tilapia aurea* 上发现鲱鱼油促生长性能最佳, 豆油和鲶鱼油次之, 牛油最差。植物油不含高不饱和脂肪酸, 因此将 18 碳不饱和脂肪酸(PUFA)转化为 HUFA 的能力是影响鱼类利用植物脂肪源的重要因素^[5]。

目前对替代鱼油脂肪源的研究大多数集中在鲑鳟鱼类, 而很少涉及鲤科鱼类, 鲤科鱼类是中国及其他国家的最重要的水产养殖种类。异育银鲫是一种改良的鲤科鱼类, 由于口味极好且增长快而越来越受欢迎^[11]。但有关其对脂肪的利用研究甚少, 之前研究表明异育银鲫具有较强的利用 PUFA 的能力^[12]。因此, 本研究探讨了不同脂肪源对异育银鲫生长和脂肪酸组成的影响, 以评价不同脂肪源的利用效果

收稿日期: 2010-04-09; 修订日期: 2011-03-18

基金项目: 国家 973 计划(2009CB118702); 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-46-19); 公益性行业(农业)科研专项(201003020)资助

作者简介: 陈家林(1981—), 男, 湖北鄂州人; 博士研究生; 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: bjchenjl@163.com

通讯作者: 解绶启, E-mail: sqxie@ihb.ac.cn

及差异, 筛选出合适的替代脂肪源。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

本实验共配制了十种等氮(38.5%)等脂(8%)的饲料, 除了脂肪来源不一样外, 其余饲料成分都相同, 饲料配方(表 1)。饲料蛋白由 5% 的鱼粉和 64% 的豆粕提供, 以减少饲料中 HUFA 的掺入。糖源是玉米淀粉。为了提高饲料适口性, 添加了 0.1% 的诱食剂。十种实验饲料中使用不同的脂肪源, 分别为鱼油(FO)、椰子油(CNO)、玉米油(CO)、亚麻油(LO)、大豆油(SO)、菜籽油(RO)、鱼油与椰子油 1:1 混合油(FCNO)、鱼油与玉米油 1:1 混合油(FCO)、鱼油与亚麻油 1:1 混合油(FLO)以及鱼油、椰子油、玉米油和亚麻油的等量混合油(MIX)。实验饲料的脂肪酸组成(表 2)。

表 1 实验基础饲料配方及化学组成(%干物质)

Tab. 1 Formulation and chemical composition of the experimental diets (% dry matter)

原料 Ingredient	含量 Content (%)
白鱼粉 White fish meal ¹	5.00
豆粕 Soybean meal	64.00
玉米淀粉 Corn starch	14.69
羧甲基纤维素 Carboxymethyl cellulose	2.00
油 Oil	8.00
矿物盐预混物 Mineral premix ²	5.00
维生素预混物 Vitamin premix ³	0.40
氯化胆碱 Choline chloride	0.11
维生素 E Vitamin E	0.20
三氧化二铬 Chromic oxide	0.50
诱食剂 Attractant ⁴	0.10
化学组成 Chemical composition (% dry matter)	
水分 Moisture	3.00±0.21
粗蛋白 Crude protein	38.09±0.08
粗脂肪 Crude lipid	8.99±0.14
灰分 Ash	9.14±0.03

注: ¹白鱼粉: 美国, 购自武汉高龙饲料公司; ²矿物盐预混物 Mineral premix (mg/kg diets): NaCl, 0.80; MgSO₄·7H₂O, 12; NaH₂PO₄·2H₂O, 20; KH₂PO₄, 25.6; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O, 16; FeSO₄·5H₂O, 2; (CH₂CHCOO)₂Ca·5H₂O, 2.8; ZnSO₄·7H₂O, 0.028; MnSO₄·4H₂O, 0.013; CuSO₄·5H₂O, 0.0025; CoCl₂·6H₂O, 0.0008; KIO₃, 0.0024; cellulose, 0.36; ³维生素预混物 Vitamin premix (mg/kg diets): V_A, 1.83; V_D, 0.5; V_E, 10; V_K, 10; 烟酸, 100; 核黄素, 20; V_{B6}, 20; V_{B1}, 20; D-泛酸钙, 50; 生物素, 1.0; 叶酸, 5; V_{B12}, 2; V_C, 100; 肌醇, 100; ⁴诱食剂 Attractant: 0.26 g 天冬氨酸+0.63 g 苏氨酸+0.1 g DMPT/kg 饲料

精确称量不同的油脂, 加入 0.2% 的维生素 E 作为抗氧化剂, 用玻棒搅匀后加入到预混好的所有粉状物中充分混和。加水以小型绞肉机制作出直径 2 mm 的颗粒, 用电风扇吹干后储存于-20℃冰箱备用。

1.2 实验条件、实验鱼及饲养

实验在室内循环水养殖系统的 30 个圆柱玻璃钢鱼缸(直径 50 cm, 水容积 98 L)中进行。在整个实验过程中, 除投喂饲料外, 每个缸均连续充气, 水流速度保持在 3 L/min。实验期间水温控制在(24±1)℃, 氨氮浓度小于 0.5 mg/L, 溶氧大于 5 mg/L, 余氯小于 0.05 mg/L, pH 约为 6.8。光照周期为 12L/12D, 光亮周期从 08:00 到 20:00。

实验用异育银鲫为中国科学院水生生物研究所关桥渔场提供的当年鱼种。实验鱼经消毒后在水泥池中暂养, 达到实验规格后转入实验系统, 投喂十种饲料的等量混合物 2 周, 使异育银鲫适应实验条件。实验开始前, 将鱼饥饿 1d 后集中, 随机挑取体格健壮、规格均匀的鱼(平均体重 3.53 g), 带水称重后放入各缸, 每缸 30 尾。分别饲以十种实验饲料, 每种饲料设三个重复。同时, 随机取出 3 组鱼作为初始鱼样, 称重后放入冰箱保存, 留待分析鱼体生化组成。

整个实验进行了 12 周。实验期间, 每天称取足量饲料, 分别在上午 9:00 和下午 15:00 投喂给实验鱼, 每次投喂后 1h 收集残饵, 于 70℃烘干称重, 以计算饲料的实际摄入量。实验中期(4 周后), 停喂 1d 后称每缸鱼的总重。实验结束后, 将鱼饥饿 24h, 每缸鱼带水称总重, 然后随机取 5 尾鱼用作分析终末鱼体组成。饲料溶失率在实验结束后进行, 在所有缸中分别投放对应的饲料 5 g, 1h 后回收饲料, 于 70℃烘干并称重, 计算饲料溶失率, 用来校正残饵量。

1.3 样品采集

实验结束时, 将鱼饥饿 24h, 从各缸中随机挑取 6 尾鱼, 称重后立即用注射器从尾静脉取血, 放入 1.5 mL 灭菌离心管中室温静置 3h, 以 12000 r/min 离心 10min 获得血清样, 分析其中的甘油三酯、总胆固醇、高密度脂蛋白和低密度脂蛋白。另外取 8 尾鱼解剖出内脏和肝脏, 去掉鱼背部鳞片和皮取出背肌和腹肌, 以计算脏器体指数和肝体指数并分析内脏、肝脏、背肌及腹肌的水分和脂肪含量。部分肝脏样品迅速放入液氮中保存, 留待分析肝脏超氧化

表 2 实验饲料脂肪酸组成(g/100g 饲料)
Tab. 2 Fatty acid composition of experimental diets (g/100g diet)

脂肪酸 Fatty acid	饲料组 Diet									
	FO	CNO	CO	LO	SO	RO	FCNO	FCO	FLO	MIX
8:0	—	0.45	—	—	—	—	0.22	—	—	0.11
10:0	—	0.38	—	—	—	—	0.19	—	—	0.10
12:0	0.06	3.26	0.01	0.01	—	0.07	1.69	0.05	0.03	0.91
14:0	0.47	1.45	0.05	0.04	0.04	0.69	1.00	0.27	0.27	0.55
16:0	1.89	1.13	1.42	0.81	1.14	0.67	1.36	1.57	1.17	1.24
16:1n-9	0.50	0.03	0.06	0.03	0.03	0.04	0.29	0.27	0.27	0.17
18:0	0.49	0.34	0.28	0.39	0.39	0.24	0.37	0.53	0.38	0.35
18:1n-9	1.69	0.91	2.68	1.83	2.14	3.32	1.05	2.10	1.50	1.65
18:2n-6	2.96	1.21	6.41	2.85	5.45	2.42	1.87	4.30	2.62	3.26
18:3n-6	0.02	—	—	0.96	0.09	0.08	—	0.02	0.24	0.14
18:3n-3	0.37	0.15	0.23	3.04	0.60	0.61	0.25	0.35	1.65	0.98
20:0	0.05	0.01	0.04	0.02	0.03	0.06	0.03	0.05	0.03	0.03
20:1n-9	0.11	0.03	0.05	0.04	0.05	0.52	0.07	0.07	0.07	0.06
20:4n-6	0.06	—	—	—	—	—	0.04	0.04	0.04	0.02
20:5n-3	1.45	0.08	0.12	0.08	0.07	0.06	0.87	0.75	0.80	0.48
22:1n-9	0.02	—	—	—	0.06	1.60	0.02	0.03	0.02	0.01
22:6n-3	0.69	0.10	0.13	0.11	0.10	0.06	0.44	0.39	0.40	0.27
SFA ¹	2.97	6.69	1.80	1.27	1.60	1.72	4.70	2.47	1.87	3.19
MUFA ²	2.35	0.96	2.78	1.90	2.28	5.49	1.45	2.47	1.86	1.88
PUFA ³	5.55	1.54	6.89	7.04	6.31	3.23	3.47	5.85	5.75	5.15
HUFA ⁴	2.20	0.19	0.24	0.19	0.17	0.12	1.35	1.18	1.25	0.77
n-3 ⁵	2.51	0.33	0.47	3.23	0.78	0.73	1.55	1.49	2.86	1.73
n-6 ⁶	3.04	1.21	6.41	3.81	5.54	2.50	1.91	4.36	2.90	3.42
n-3/n-6	0.83	0.28	0.07	0.85	0.14	0.29	0.81	0.34	0.99	0.51

注: ¹SFA, 饱和脂肪酸(saturated fatty acids): 6:0, 8:0, 10:0, 12:0, 14:0, 16:0, 18:0, 20:0; ²MUFA, 单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids): 16:1n-9, 18:1n-9, 20:1n-9; ³PUFA, 多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids): 18:2n-6, 18:3n-3, 18:3n-6, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:6n-3; ⁴HUFA, 高不饱和脂肪酸(highly unsaturated fatty acids): 20:4n-6, 20:5n-3, 22:6n-3; ⁵n-3: 18:3n-3, 20:5n-3, 22:6n-3; ⁶n-6: 18:2n-6, 18:3n-6, 20:4n-6

物歧化酶(SOD)活性; 部分背肌放入液氮速冻, 经冷冻干燥后, -70℃保存用于测定脂肪酸组成。

1.4 样品分析方法

血清甘油三酯、总胆固醇、高密度脂蛋白和低密度脂蛋白送交武汉大学中南医院以全自动生化分析仪(abbott-AEROSET, America)测定。肝脏 SOD 活性根据 Ôyanagi^[13]的方法进行亚硝酸盐形成法测定, 在 550 nm 处测吸光值; 肝脏蛋白含量根据 Bradford^[14]方法以小牛血清白蛋白作为标准测得, 测定结果表示为 U/mg prot。

实验饲料和鱼样的生化组成测定参照 AOAC^[15]的方法进行: 干物质在 105℃烘干至恒重, 通过失重法测定; 粗蛋白含量用凯氏定氮仪测定(2300

Kjeltec Analyzer Unit, FOSS TECATOR, Sweden); 粗脂肪采用索氏抽提仪(Soxtec system HT6, Tecator, Haganas, Sweden)以乙醚为抽提液测定; 灰分在马福炉中以 550℃燃烧失重法测定。每个样品至少测定两个平行。

实验饲料和肌肉样的脂肪酸组成分析参照 GB/T 17376-1998(eqv ISO 5509:1978)和 GB/T 17377-1998(eqv ISO 5508:1990)的方法, 由北京营养源研究所测定。甲酯化的脂肪酸用携带分流进样器(SHIMADZU SPL-14C)的气相色谱仪(SHIMADZU GC-14C)分析。以毛细管柱(60 m×0.25 mm)采用程序升温(130℃: 1min; 130—170℃: 6.5℃/min; 170—215: 2.75℃/min; 215℃: 12min; 215—230℃: 40℃/min;

230℃: 3min)进行分离, 载气为氮气(流速 43 mL/min), 检测器为氢离子火焰检测器(flame ionization detector)。进样温度 270℃, 检测器温度 280℃, 内标为 C11:0。

1.5 统计分析

采用 Statistical 6.0 软件进行统计分析。实验数据经一元方差分析(One-way ANOVA)后, 用 Duncan's 多重比较来确定各实验组间差异的显著性。显著水平为 $P < 0.05$, 表中数据为三缸平行的平均值。

2 结果

2.1 生长与饲料利用

如表 3 所示, 异育银鲫对椰子油、豆油和 1:1 的鱼油椰子油饲料的摄食率显著高于其他各组 ($P < 0.05$), 终末体重和增重率也以这三组最高。在单一脂肪源饲料中, 豆油组和椰子油组的增重率最高, 菜籽油组与椰子油组无明显差异但显著低于豆油组, 亚麻油组、玉米油组和鱼油组的生长最低 ($P < 0.05$)。与相应的单一脂肪源相比, 饲料中鱼油分别与椰子油、玉米油或是亚麻油 1:1 混合后使用提升了异育银鲫的生长, 但是四种油脂混合组的生长没有得到改善。饲料效率以菜籽油组、1:1 的鱼油玉米油组和 1:1 的鱼油亚麻油组最高, 椰子油和豆油组最低, 其余几组居中 ($P < 0.05$)。不同脂肪源对异育银鲫的肝体和脏体指数没有显著性影响 ($P > 0.05$)。

2.2 肝脏 SOD 及血清生化指标

表 4 显示出, 椰子油组肝脏 SOD 活性显著低于豆油组、1:1 的鱼油玉米油组、1:1 的鱼油亚麻油组和混合油组 ($P < 0.05$), 其余各组差异不明显 ($P > 0.05$)。摄食豆油和菜籽油饲料的异育银鲫血清甘油三酯显著高于其他各组 ($P < 0.05$)。血清总胆固醇、高密度脂蛋白(HDL)和低密度脂蛋白(LDL)受不同脂肪源的影响不显著 ($P > 0.05$)。

2.3 鱼体组织水分和脂肪含量

从表 5 可以看出, 不同脂肪源对异育银鲫空壳、内脏、背肌以及腹肌的水分和脂肪含量没有显著性影响 ($P > 0.05$)。

2.4 鱼体生化组成

初始和终末鱼样的生化组成显示在表 6 中。初样的干物质、粗蛋白、粗脂肪均明显低于终样, 而灰分含量高于终样。比较各组终样发现饲料中不同脂肪源对鱼体干物质、脂肪和灰分含量均没有影响 ($P > 0.05$)。亚麻油组和菜籽油组的鱼体粗蛋白含量显著低于椰子油组和混合油组 ($P < 0.05$), 其余各组差异不明显 ($P > 0.05$)。

2.5 肌肉脂肪酸组成

表 7 所示为摄食不同脂肪源饲料 12 周后异育银鲫背肌的脂肪酸组成。各组肌肉的脂肪酸都含有大量的 16:0 和 18:1n-9, 其次为 18:2n-6 和 22:6n-3。肌肉的脂肪酸组成明显的反映了饲料的脂肪酸组成。

表 3 不同脂肪源饲料对异育银鲫生长和饲料利用的影响(平均值±标准误)*

Tab. 3 Effect of dietary lipid sources on growth performance and feed utilization of gibel carp (Mean±SE)*

饲料组 Diet	初始体重 IBW ¹ (g)	终末体重 FBW ² (g)	摄食率 FR ³ (% BW/d)	增重率 WG ⁴ (%)	饲料效率 FE ⁵ (%)	肝体指数 HST ⁶ (%)	脏体指数 VSI ⁷ (%)
FO	3.53±0.00	8.47±0.06 ^b	3.12±0.03 ^a	148.35±2.00 ^{ab}	33.10±0.40 ^{bc}	4.57±0.35	16.68±1.16
CNO	3.54±0.01	9.30±0.11 ^{cd}	3.76±0.04 ^c	172.22±3.38 ^{def}	29.74±0.59 ^a	4.98±0.27	17.38±0.43
CO	3.53±0.00	8.37±0.04 ^{ab}	3.22±0.03 ^a	145.52±1.18 ^{ab}	31.69±0.18 ^{abc}	5.01±0.34	17.74±0.04
LO	3.52±0.01	7.98±0.25 ^a	3.02±0.03 ^a	134.94±7.14 ^a	32.33±0.83 ^{abc}	4.89±0.58	17.84±0.46
SO	3.53±0.00	9.49±0.07 ^{de}	3.72±0.07 ^{bc}	178.41±1.90 ^{ef}	30.63±0.73 ^{ab}	5.31±0.28	17.42±0.36
RO	3.54±0.01	9.00±0.25 ^c	3.13±0.11 ^a	163.29±7.49 ^{cd}	34.80±1.97 ^c	5.26±0.28	17.69±0.40
FCNO	3.54±0.00	9.78±0.17 ^e	3.53±0.13 ^b	186.25±4.96 ^f	33.12±1.66 ^{bc}	4.87±0.28	17.31±0.15
FCO	3.53±0.01	9.10±0.20 ^{cd}	3.24±0.02 ^a	167.46±6.34 ^{de}	34.01±0.48 ^c	4.91±0.39	17.84±0.48
FLO	3.53±0.00	8.53±0.09 ^b	3.04±0.07 ^a	150.23±2.86 ^{bc}	34.17±0.54 ^c	4.69±0.19	17.58±0.27
MIX	3.53±0.00	8.49±0.09 ^b	3.23±0.05 ^a	149.28±2.35 ^{abc}	32.08±0.24 ^{abc}	4.55±0.03	17.39±0.30

注: *表中同列数值后不同上标英文字母表示差异显著 ($P < 0.05$); ¹IBW: 初始体重; ²FBW: 终末体重; ³摄食率 (% 体重/天)=100×总干物质摄食量/[天数×(初始体重+终末体重)/2]; ⁴增重率(%)=100×(末重-初重)/初重; ⁵饲料效率(%)=100×鱼体湿重总增重/总干物质摄食量; ⁶肝体指数 (%)=100×肝脏湿重/鱼体重; ⁷脏体指数 (%)=100×内脏湿重/鱼体重

Note: *Means in the same column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$); ¹IBW: initial body weight (g); ²FBW: final body weight (g); ³Feeding rate (% body weight/d) = 100×total feed intake/[days×(initial body weight + final body weight)/2]; ⁴Weight gain (%)=100×(final body weight - initial body weight)/initial body weight; ⁵Feed efficiency (%) = 100×wet weight gain/dry feed intake; ⁶Hepato-somatic index (%) = 100×liver wet weight/body weight; ⁷VSI: Viscera-somatic index (%) = 100×viscera wet weight/body weight

表 4 摄食不同脂肪源饲料的异育银鲫肝脏 SOD 及血清生化指标(平均值±标准误)*
Tab. 4 Hepatic SOD and plasma biochemistry in gibel carp fed diets with different lipid sources (Mean±SE)*

饲料组 Diet	肝脏 Liver		血清 Plasma		
	超氧化物歧化酶 SOD (U/mg prot)	甘油三酯 TG (mmol/L)	总胆固醇 TC (mmol/L)	高密度脂蛋白 HDL (mmol/L)	低密度脂蛋白 LDL (mmol/L)
FO	324.82±48.73 ^{abc}	2.00±0.14 ^a	6.32±0.41	1.21±0.03	0.19±0.04
CNO	241.06±12.79 ^a	2.63±0.30 ^a	7.08±0.57	1.21±0.01	0.35±0.09
CO	333.12±45.83 ^{abc}	2.32±0.20 ^a	5.57±0.09	1.16±0.00	0.16±0.02
LO	276.74±13.04 ^{ab}	2.25±0.41 ^a	5.70±0.41	1.17±0.01	0.27±0.07
SO	287.62±23.59 ^{ab}	4.32±0.68 ^b	6.66±0.17	1.17±0.01	0.32±0.06
RO	391.42±49.35 ^{bc}	3.94±0.86 ^b	5.91±0.62	1.14±0.02	0.25±0.07
FCNO	343.39±53.53 ^{abc}	2.14±0.28 ^a	5.55±0.45	1.14±0.02	0.27±0.07
FCO	411.33±32.78 ^{bc}	1.91±0.34 ^a	4.84±0.99	1.16±0.02	0.12±0.05
FLO	439.60±39.85 ^c	2.33±0.09 ^a	5.66±0.04	1.17±0.01	0.31±0.04
MIX	436.96±63.86 ^c	1.97±0.29 ^a	6.08±0.92	1.17±0.05	0.21±0.07

注：*表中同列数值后不同上标英文字母表示差异显著($P<0.05$)；下同

Note: *Means in the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$); the bellow is same

表 5 不同脂肪源对异育银鲫各组织水分和脂肪含量的影响(平均值±标准误)*
Tab. 5 Effect of dietary lipid sources on moisture and lipid content in different tissues of gibel carp (Mean±SE)*

饲料组 Diet	空壳 Carcass		内脏 Viscera		腹肌 Ventral muscle		背肌 Dorsal muscle	
	水分	脂肪(%湿重)	水分	脂肪(%湿重)	水分	脂肪(%湿重)	水分	脂肪(%湿重)
	Moisture (%)	Lipid	Moisture (%)	Lipid	Moisture (%)	Lipid	Moisture (%)	Lipid
FO	73.36±0.61	5.94±0.29	71.07±2.08	10.34±1.83	75.35±0.89	4.58±0.15	79.06±0.94	1.12±0.15
CNO	72.10±0.47	6.40±0.35	68.22±1.24	11.28±1.46	74.00±0.42	5.91±0.84	78.05±0.20	1.11±0.20
CO	72.67±0.13	6.01±0.08	68.88±0.94	11.60±1.10	74.95±0.21	3.77±0.39	78.23±0.17	1.14±0.16
LO	72.74±0.18	5.65±0.61	67.73±2.30	11.67±1.48	74.61±0.27	4.84±0.67	78.30±0.55	1.16±0.15
SO	72.54±0.62	6.16±0.19	69.41±0.76	11.77±1.23	75.19±0.30	5.45±2.09	79.15±0.75	1.45±0.31
RO	72.59±0.26	6.35±0.22	68.19±1.68	11.72±0.83	74.74±0.38	5.26±0.33	78.38±0.49	1.29±0.08
FCNO	72.59±0.21	6.39±0.09	68.83±1.79	11.64±0.31	74.78±0.37	4.41±0.97	77.97±0.46	1.06±0.14
FCO	72.65±0.15	6.25±0.32	65.92±0.99	15.16±1.64	74.53±0.59	5.56±2.16	78.13±0.31	1.29±0.09
FLO	73.31±0.47	5.75±0.27	70.84±1.93	11.29±2.65	73.80±0.59	4.22±1.29	78.64±0.32	1.29±0.17
MIX	72.98±0.52	5.85±0.33	71.25±2.10	10.45±1.90	75.02±0.94	5.86±1.13	78.78±0.56	1.09±0.13

表 6 摄食不同脂肪源饲料的异育银鲫鱼体生化组成(%湿重)(平均值±标准误)
Tab. 6 Body composition of gibel carp fed diets with different lipid sources (% in wet weight) (Mean±SE)

饲料组 Diet	干物质 Dry matter	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	灰分 Ash
初样 Initial	23.28±0.39	13.44±0.22	2.91±0.19	4.69±0.01
终样 Final				
FO	25.74±0.11	14.76±0.16 ^{bc}	6.21±0.16	2.99±0.09
CNO	26.33±0.18	14.96±0.20 ^c	5.92±0.09	3.37±0.05
CO	26.25±0.27	14.57±0.10 ^{abc}	6.51±0.20	3.24±0.07
LO	26.12±0.50	14.23±0.05 ^{ab}	6.41±0.27	3.27±0.11
SO	26.21±0.36	14.76±0.15 ^{bc}	6.75±0.17	3.08±0.17
RO	25.09±0.71	14.10±0.38 ^a	6.16±0.20	3.01±0.05
FCNO	26.24±0.23	14.70±0.08 ^{bc}	6.41±0.35	3.05±0.05
FCO	25.69±0.35	14.57±0.13 ^{abc}	6.04±0.22	3.18±0.24
FLO	26.16±0.17	14.81±0.05 ^c	6.45±0.21	3.00±0.03
MIX	25.69±0.43	14.96±0.16 ^c	5.77±0.51	3.20±0.09

鱼油组 HUFA 含量(主要是 22:6n-3)最高, 椰子油及其与鱼油 1:1 混合组的 12:0 和 14:0 明显高于其他组。玉米油组和豆油组均积累了大量的 18:2n-6, 20:4n-6 也高于其他组, 而前者 18:3n-3 含量略低于后者。18:3n-3 含量在亚麻油组最高, 其次为亚麻油与鱼油 1:1 混合组。摄食菜籽油饲料的鱼肌肉中含有大量的 MUFA(主要是 18:1n-9)。

图 1 显示, 除 16:0 和 20:4n-6 外, 肌肉中各脂肪酸与饲料脂肪酸呈明显正相关。肌肉中 16:0、18:1n-9 以及 HUFA(主要是 20:4n-6 和 22:6n-3)含量高于饲料中的含量, 而 PUFA(主要是 18:2n-6 和 18:3n-3)则比饲料中的低。

3 讨论

由于实验在冬季进行, 尽管给系统加温, 使水

温稳定在 24℃ 左右, 保证了异育银鲫较高的摄食率, 但是生长较慢, 饲料效率较低, 也可能是由于饲料中加入了高达 64% 的豆粕所致。实验结果表明, 不同脂肪源对异育银鲫的生长和饲料利用有明显影响。很多研究得出不同脂肪源对鱼类的生长没有影响, 这可能是由于实验条件或鱼种类不同, 如主要使用鱼粉做蛋白源, 保证了一定量的 HUFA 以满足鱼类快速的生长^[6, 7, 16], 而本实验饲料蛋白主要由豆粕提供, 仅含少量鱼粉。饲喂以酪蛋白为主要饲料蛋白源的饲料, 高首鲟 *Acipenser transmontanus* 对其中 8 种脂肪源的利用效果相当^[17]。

以单一脂肪源而论, 全豆油组和椰子油组的生长表现最好。前面研究表明异育银鲫能很好地利用饲料中的 18:2n-6^[12], 豆油中含有大量的 18:2n-6, 对异育银鲫可能是一种很好的脂肪源。此外由于豆

表 7 摄食不同脂肪源饲料的异育银鲫肌肉脂肪酸组成(%总脂肪酸)

Tab. 7 Fatty acid composition of muscle lipid in gibel carp fed diets with different lipid sources (% in total fatty acids)

脂肪酸 Fatty acid	初样 Initial	饲料组 Diet									
		FO	CNO	CO	LO	SO	RO	FCNO	FCO	FLO	MIX
12:0	0.26	0.24	6.54	— ⁷	0.28	0.10	0.31	4.41	0.26	0.16	2.50
14:0	1.36	2.17	6.01	0.78	1.12	0.76	1.07	4.76	1.69	1.83	3.17
16:0	24.65	20.59	22.18	19.62	17.61	19.69	18.49	21.67	20.38	19.75	20.16
16:1n-9	1.94	4.38	3.98	2.03	2.16	2.04	2.58	4.21	3.30	3.38	2.73
18:0	8.87	5.98	6.42	5.90	6.54	6.36	4.52	6.14	5.73	6.22	6.37
18:1n-9	23.69	20.26	25.60	26.70	24.01	26.48	35.64	22.93	24.50	22.76	23.23
18:2n-6	17.33	17.34	11.41	29.25	19.51	27.97	15.40	13.81	24.76	19.24	20.25
18:3n-3	2.17	2.47	0.92	0.88	9.33	2.10	1.94	1.25	1.23	6.28	3.10
18:3n-6	—	0.28	—	—	1.52	0.27	0.29	—	—	1.06	0.57
20:0	0.30	0.39	0.15	0.13	0.19	0.14	0.24	—	0.18	0.20	0.19
20:1n-9	1.91	1.78	1.86	1.90	1.69	1.75	5.20	1.73	1.86	1.65	1.64
20:3n-3	—	—	—	—	0.50	—	—	—	—	0.36	0.23
20:4n-6	1.57	1.61	3.74	4.81	1.44	4.24	3.21	1.96	2.43	1.33	2.39
20:5n-3	3.05	5.25	1.24	0.87	2.34	0.82	1.15	3.50	2.73	3.57	2.12
22:1n-9	—	—	—	—	—	—	1.99	—	—	—	—
22:6n-3	12.91	15.09	9.48	7.11	11.75	7.28	7.96	13.28	10.95	12.20	11.35
SFA ¹	35.44	29.38	41.53	26.43	25.74	27.05	24.63	37.15	28.24	28.16	32.39
MUFA ²	27.54	26.42	31.68	30.63	27.86	30.27	45.41	29.04	29.66	27.79	27.60
PUFA ³	24.12	26.95	17.31	35.81	34.64	35.40	21.99	20.52	31.15	31.84	28.66
HUFA ⁴	17.53	21.95	14.46	12.79	15.53	12.34	12.32	18.74	16.11	17.10	15.86
n-3 ⁵	18.13	22.82	11.64	8.86	23.92	10.20	11.05	18.03	14.91	22.41	16.80
n-6 ⁶	18.90	19.23	15.15	34.06	22.47	32.48	18.90	15.77	27.19	21.63	23.21
n-3/n-6	0.96	1.19	0.77	0.26	1.06	0.31	0.58	1.14	0.55	1.04	0.72

注: ¹SFA, 饱和脂肪酸(saturated fatty acids): 6: 0, 8: 0, 10: 0, 12: 0, 14: 0, 16: 0, 18: 0, 20: 0; ²MUFA, 单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids): 16: 1n-9, 18: 1n-9, 20: 1n-9; ³PUFA, 多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids): 18: 2n-6, 18: 3n-3, 18: 3n-6, 20: 4n-6, 20: 5n-3, 22: 6n-3; ⁴HUFA, 高不饱和脂肪酸(highly unsaturated fatty acids): 20: 4n-6, 20: 5n-3, 22: 6n-3; ⁵n-3: 18: 3n-3, 20: 5n-3, 22: 6n-3; ⁶n-6: 18: 2n-6, 20: 3n-6, 20: 4n-6; ⁷—: 未检出 not detected

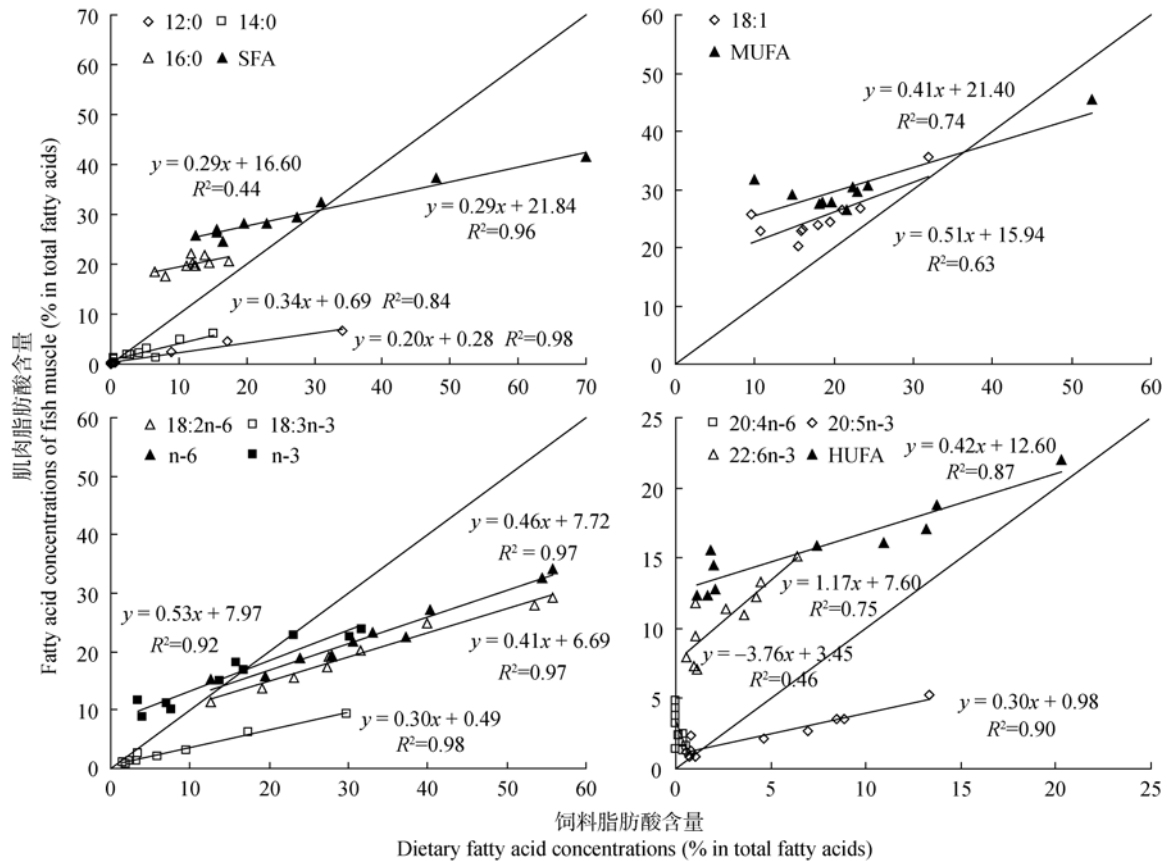


图 1 异育银鲫肌肉脂肪酸与饲料脂肪酸之间的相关关系(%总脂肪酸)

Fig. 1 Relationship between fish muscle fatty acid concentrations and dietary concentrations (% in total fatty acids)

油产量高, 价格便宜, 在生产上也广泛应用。很多研究也证实了豆油作为替代脂肪源的良好效果^[16, 18]。

鲤 *Cyprinus carpio* L.^[19]、非洲鲶鱼 *Heterobranchus longifilis*^[20]和拟石首鱼 *Sciaenops ocellatus*^[21]均能有效利用椰子油, 因为椰子油中含有大量中链脂肪酸(主要是 12:0), 这些脂肪酸都是很好的供能物质, 能很快被水解吸收并转移至肝脏进行氧化利用^[22]。但是椰子油缺乏必需脂肪酸, 上面研究均是在保证了必需脂肪酸的供给条件下得出的。本实验中椰子油组的摄食率最高, 生长也很好, 可能饲料中 1.2% 的 18:2n-6 就可以满足异育银鲫的需要, 或是异育银鲫可能通过提高摄食来补偿脂肪酸营养的不足因此保证了短期的生长, 这需要进一步研究的证实。

菜籽油含有适量的 18:2n-6 和 18:3n-3 以及大量的 18:1n-9, 后者通常首先被 β 氧化产生能量^[23]。菜籽油能完全替代大西洋鲑饲料中的鱼油而不会影响生长, 因而是一种潜在的替代脂肪源^[24, 25]。这与本实验中菜籽油组的良好生长效果相一致。

在本实验中玉米油、亚麻油和鱼油均没有表现出很好的生长效果。鱼油组表现不佳可能是由于鱼油中高含量的 HUFA 极易氧化而引起饲料氧化程度上升^[26]。异育银鲫为淡水杂食性鱼类, 可能不会需要那么多的 HUFA, 过多的 HUFA 会使鱼类处在不自然或是不正常的应激状态下, 因此需要通过一些生理代谢反应以缓解这种不良情况^[27, 28]。亚麻油组的生长最差, 可能意味着异育银鲫不能如鲑鱼类那样有效利用其中高含量的 18:3n-3。我们的研究结果与在斑点叉尾鲷^[8]的结果一致。

玉米油组的生长表现远不如同样含有大量 18:2n-6 的豆油组, 尽管前面研究发现了异育银鲫具有很强的利用 18:2n-6 能力^[12]。我们发现两组饲料脂肪酸组成很接近, 只是玉米油的 18:2n-6 含量更高, 而 18:3n-3 不如豆油, 较差的生长可能是由于 18:3n-3 不足或是过高的 n-6/n-3 比例所致。在斑点叉尾鲷中也有类似发现^[9, 29]。鱼油玉米油 1:1 混合后投喂显著改善了异育银鲫的生长, 在一定程度上证明了我们的推测。

与相应的单一脂肪源相比, 鱼油分别与椰子油、玉米油、亚麻油 1:1 混合后使用明显改善了生长。这样既保证了 HUFA 的供给以促进鱼类快速的生长, 也可以降低饲料的氧化程度。这与很多研究相一致^[30, 31]。

摄食不同脂肪源饲料后, 异育银鲫 HSI 和 VSI 没有受到影响, 鱼体生化成分的变化也很小。通常组织脂肪含量会受到不同脂肪源的影响^[5], 但是我们实验中没有发现各组织水分和脂肪含量的差异, 可能意味着这些脂肪源均能为异育银鲫作为能量使用。在尖吻鲈 *Lates calcarifer*^[32]、真鲷 *Pagrus major*^[33]和驼背鲈 *Cromileptes altivelis* (Valenciennes)^[34]的研究中也有类似报道。

鱼体脂肪酸组成基本上反映了饲料的脂肪酸组成^[16, 17, 23]。这在本实验中得到证实, 异育银鲫肌肉脂肪酸与饲料呈明显的线性正相关。饲以植物油饲料降低了异育银鲫肌肉中 HUFA 含量。摄食含 18:2n-6 较多的饲料(玉米油和豆油)的异育银鲫肌肉中 20:4n-6 较其他组高, 同样, 饲料中高含量的 18:3n-3(亚麻油)也导致了肌肉中 EPA 和 DHA 含量的升高, 这间接证明异育银鲫具有延链和去饱和 18:2n-6 和 18:3n-3 的能力。这也是异育银鲫能很好地利用植物油的一个原因, 这种转化能力将提升植物油在其饲料中的应用潜力。

除玉米油、豆油和亚麻油因饲料基本不含 12:0 和 14:0 外, 其他各组肌肉中 12:0 和 14:0 与饲料中相比有所下降, 尤其是含椰子油的饲料组。与此相反, 16:0 和 18:1n-9 较之饲料有了明显的提高。鱼体可能将过剩的 SFA 延链或去饱和为 16:0 和 18:1n-9, 或是通过线粒体或过氧化物酶体 β 氧化优先作为能量利用^[35, 36]。肌肉中 PUFA(主要是 18:2n-6 和 18:3n-3)含量比在饲料的低, 但是 HUFA 含量反而高于饲料, 尤其是 20:4n-6 和 22:6n-3。这表明 18:2n-6 和 18:3n-3 的一部分被 β 氧化作为能量利用了, 另一部分则通过碳链加长和去饱和转化为 20:4n-6 和 22:6n-3^[37]。同时, 肌肉中积累了比饲料中还高的 20:4n-6 和 22:6n-3, 体现了这些 HUFA 在机体内的重要性。研究认为 DHA 在形成细胞膜结构脂肪上起着重要作用, 因而被保留在组织中^[38, 39], 而 20:4n-6 是形成前列腺烷酸的前体物质。

4 小结

椰子油、大豆油和菜籽油是异育银鲫饲料中良好的脂肪源, 而玉米油和亚麻油不能为异育银鲫所用。与相应的单一脂肪源相比, 鱼油与其他植物油 1:1 混合后使用明显改善了生长。异育银鲫具有很强的生物转化 18:2n-6 和 18:3n-3 为 HUFA 的能力。异育银鲫肌肉与饲料的脂肪酸呈明显的线性正相关, 20:4n-6 和 DHA 被优先保留在组织中。

致谢:

感谢聂光汉先生在实验养殖系统维护方面的帮助。

参考文献:

- [1] New M B, Wijkström U N. Use of fishmeal and fish oil in aquafeeds: Further thoughts on the fishmeal trap. FAO Fisheries Circular NO.975 FIPP/C975. 2002
- [2] Schlechtriem C, Bron J E, Tocher D R. Inter-individual variation in total fatty acid compositions of flesh of Atlantic salmon smolts-fed diets containing fish oil or vegetable oil [J]. *Aquaculture Research*, 2007, **38**: 1045—1055
- [3] Wassef E A, Wahby O M, Sakr E M. Effect of dietary vegetable oils on health and liver histology of gilthead seabream (*Sparus aurata*) growers [J]. *Aquaculture Research*, 2007, **38**: 852—861
- [4] Bahurmiz O M, Ng W K. Effects of dietary palm oil source on growth, tissue fatty acid composition and nutrient digestibility of red hybrid tilapia, *Oreochromis* sp., raised from stocking to marketable size [J]. *Aquaculture*, 2007, **262**: 382—392
- [5] Sargent J R, Tocher D R, Bell J G. The lipids [A]. In: Halver J E, Hardy R W (Eds.), *Fish Nutrition*. 3rd edn. [C]. San Diego: Academic Press. 2002, 181—257
- [6] 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
- [7] Thomassen M S, Røsjø C. Different fats in feed for salmon: Influence on sensory parameters, growth rate and fatty acids in muscle and heart [J]. *Aquaculture*, 1989, **79**: 129—135
- [8] Stickney R R, Andrews J W. Effects of dietary lipids on growth, food conversion, lipid and fatty acid composition of channel catfish [J]. *Journal of Nutrition*, 1972, **102**: 249—257
- [9] Yingst W L, Stickney R R. Effects of dietary lipids on fatty acid composition of channel catfish fry [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1979, **108**: 620—625
- [10] Stickney R R, McGeachin R B. Responses of *Tilapia aurea*

- to semipurified diets of differing fatty acid composition [A]. In: Proceedings, International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Nazareth, Israel [C]. 1983, 346—355
- [11] Zhang S, Xie S Q, Zhu X M, *et al.* Effect of faecal collection interval and dietary meat and bone meal levels on digestibility of nutrients in gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2008, **12**(1): 79—90 [张松, 解绥启, 朱晓鸣, 等. 粪便收集时间和饲料中肉骨粉含量对异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*) 消化率的影响. 水生生物学报, 2008, **12**(1): 79—90]
- [12] Chen J L. Essential fatty acid requirements and nutritional value of alternative lipid sources for gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [D]. Thesis for Doctor of Science. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan. 2008 [陈家林. 异育银鲫必需脂肪酸需求及不同脂肪源营养价值的评价. 博士学位论文, 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 2008]
- [13] Ôyanagi Y. Reevaluation of assay methods and establishment of kit for superoxide dismutase [J]. *Analytical Chemistry*, 1984, **142**(1): 290—296
- [14] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. *Analytical Biochemistry*, 1976, **72**: 248—254
- [15] AOAC. Official Methods of Analysis [A]. 14th edn. Washington D C: Association of Official Analytical Chemists. 1984, 152—163
- [16] Regost C, Arzel J, Robin J, *et al.* Total replacement of fish oil by soybean oil with return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*): I. Growth performance, flesh fatty acid profile, and lipid metabolism [J]. *Aquaculture*, 2003, **217**: 465—482
- [17] Xu R P, Hung S S, German J B. White sturgeon tissue fatty acid compositions are affected by dietary lipids [J]. *Journal of Nutrition*, 1993, **123**: 1685—1692
- [18] Rørå A M B, Ruyter B, Skorve J, *et al.* Influence of high content of dietary soybean oil on quality of large fresh, smoked and frozen Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Aquaculture International*, 2005, **13**: 217—231
- [19] Fontagné S, Pruszyński T, Corraze G, *et al.* Effect of coconut oil and tricaprilyn vs. triolein on survival, growth and fatty acid composition of common carp (*Cyprinus carpio* L.) larvae [J]. *Aquaculture*, 1999, **179**: 241—251
- [20] Legendre M, Kerdchuen N, Corraze G, *et al.* Larval rearing of an African catfish *Heterobranchus longifilis* (Teleostei, Clariidae): effect of dietary lipids on growth, survival and fatty acid composition of fry [J]. *Aquatic Living Resources*, 1995, **8**: 355—363
- [21] Craig S R, Gatlin D M III. Coconut oil and beef tallow, but not tricaprilyn, can replace menhaden oil in the diet of red drum (*Sciaenops ocellatus*) without adversely affecting growth or fatty acid composition [J]. *Journal of Nutrition*, 1995, **125**: 3041—3048
- [22] Sheridan M A. Lipid dynamics in fish: aspects of absorption, transportation, deposition and mobilization [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology B*, 1988, **90**: 679—690
- [23] Henderson R J. Fatty acid metabolism in freshwater fish with particular reference to polyunsaturated fatty acids [J]. *Archives of Animal Nutrition*, 1996, **49**: 5—22
- [24] Bell J G, McEvoy J, Tocher D R, *et al.* Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism [J]. *Journal of Nutrition*, 2001, **131**: 1535—1543
- [25] Torstensen B E, Froyland L, Lie Ø. Replacing dietary fish oil with increasing levels of rapeseed oil and olive oil - effects on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) tissue and lipoprotein lipid composition and lipogenic enzyme activities [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2004, **10**: 175—192
- [26] Mourente G, Díaz-Salvago E, Tocher D R, *et al.* Effects of dietary polyunsaturated fatty acid/vitamin E (PUFA/tocopherol) ratio on antioxidant defence mechanisms of juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata* L., Osteichthyes, Sparidae) [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2000, **23**: 337—351
- [27] Yu T C, Sinnhuber R O. Growth response of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to dietary ω_3 and ω_6 fatty acids [J]. *Aquaculture*, 1976, **8**: 309—317
- [28] Yu T C, Sinnhuber R O. Effect of dietary ω_3 and ω_6 fatty acids on growth and feed conversion efficiency of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) [J]. *Aquaculture*, 1979, **16**: 31—38
- [29] Stickney R R, Hardy R W. Lipid requirements of some warm water species [J]. *Aquaculture*, 1989, **79**: 145—156
- [30] Chou B S, Shiau S Y. Both n-6 and n-3 fatty acids are required for maximal growth of juvenile hybrid tilapia [J]. *North American Journal of Aquaculture*, 1999, **61**: 13—20
- [31] Lin Y H, Shiau S Y. Effects of dietary blend of fish oil with corn oil on growth and non-specific immune responses of grouper, *Epinephelus malabaricus* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2007, **13**: 137—144
- [32] Raso S, Anderson T A. Effects of dietary fish oil replacement on growth and carcass proximate composition of juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) [J]. *Aquaculture Research*, 2003, **34**: 813—819
- [33] Glencross B, Hawkins W, Curnow J. Evaluation of canola oils as alternative lipid resources in diets for juvenile red seabream, *Pagrus auratus* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2003, **9**: 305—315
- [34] Shapawi R, Mustafa S, Ng W K. Effects of dietary fish oil replacement with vegetable oils on growth and tissue fatty acid composition of humpback grouper, *Cromileptes altivelis* (Valenciennes) [J]. *Aquaculture Research*, 2008, **39**: 315—323
- [35] Henderson R J, Tocher D R. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish [J]. *Progress in Lipid Research*, 1987, **26**: 281—347

- [36] Olsen R E, Henderson R J. Muscle fatty acid composition and oxidative stress indices of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.), in relation to dietary polyunsaturated fatty acid levels and temperature [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1997, **3**: 227—238
- [37] Bell M V, Dick J R, Porter A E A. Biosynthesis and tissue deposition of docosahexaenoic acid (22:6n-3) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Lipids*, 2001, **36**: 1153—1159
- [38] Skallia A, Robin J H. Requirement of n-3 long chain polyunsaturated fatty acids for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles: growth and fatty acid composition [J]. *Aquaculture*, 2004, **240**: 399—415
- [39] Ng W K, Koh C B, Din Z B. Palm oil-laden spent bleaching clay as a substitute for marine fish oil in the diets of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, **12**: 459—468

DIETARY LIPID SOURCES FOR GIBEL CARP *CARASSIUS AURATUS GIBELIO*: GROWTH PERFORMANCE, TISSUE COMPOSITION AND MUSCLE FATTY ACID PROFILES

CHEN Jia-Lin^{1,2}, HAN Dong¹, ZHU Xiao-Ming¹, YANG Yun-Xia¹ and XIE Shou-Qi^{1,3}

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 430072, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Aquaculture Divisions, E-Institute of Shanghai Universities, Shanghai 200025, China)

Abstract: A 12-week growth trial was conducted with juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) to evaluate their ability by utilize different dietary lipids. Ten diets were supplemented with 8% of either fish oil (FO), coconut oil (CNO), corn oil (CO), linseed oil (LO), soybean oil (SO), rapeseed oil (RO), 1:1 fish oil-coconut oil (FCNO), 1:1 fish oil-corn oil (FCO), 1:1 fish oil-linseed oil (FLO) or 1:1:1 fish-coconut-corn-linseed oil mixture (MIX). Each diet was fed to triplicate groups of fish (initial weight: 3.53 g, 30 ini.) in a recirculation system at (24±1)°C. Weight gain were the highest in SO and CNO group, followed RO and the lowest in FO, CO and LO group, when used as a single lipid source. Compared to total replacement of fish oil, coconut oil, corn oil or linseed oil substitute 50% fish oil led to a higher weight gain, respectively. Neither the plasma biochemistry nor the lipid and moisture contents in different tissues of gibel carp showed significant difference between groups ($P>0.05$). Fatty acid composition of muscle in fish generally reflected the composition of the diet. Fish fed CO and SO had higher 20:4n-6, while relative higher 20:5n-3 and 22:6n-3 was detected in fish fed LO. These results suggested that gibel carp had ability to desaturate and elongate 18:2n-6 and 18:3n-3 to highly unsaturated fatty acid. In conclusion, soybean oil, coconut oil and rapeseed oil were good alternative lipid sources for gibel carp.

Key words: Gibel carp; Lipid sources; Growth; Muscle fatty acid composition