

饲料中不同脂肪源对鲤鱼生长性能、脂质代谢和抗氧化能力的影响

潘瑜¹ 毛述宏¹ 关勇¹ 林鑫¹ 林仕梅^{1,2*} 高启平³ 罗莉^{1,2}

(1. 西南大学动物科技学院, 重庆 400716; 2. 西南大学淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 重庆 400716; 3. 通威股份水产研究所, 成都 610041)

摘要: 在一种实用饲料配方的基础上, 分别添加 1.5% 的鱼油、豆油、菜籽油、亚麻籽油和猪油作为单一脂肪源, 配制成 5 种等氮等能(粗蛋白质含量 35%, 总能 15 MJ/kg) 的试验饲料, 通过 8 周的饲养试验, 以研究饲料中不同脂肪源对鲤鱼生长性能、体组成、肝胰脏脂质代谢相关酶和抗氧化酶活性的影响。选取平均初重为 (5.83 ± 0.01) g 的鲤鱼 750 尾, 随机分成 5 组, 每组 3 个重复, 每个重复 50 尾鱼。结果表明: 特定生长率(SGR)、蛋白质效率(PER)、饲料系数(FCR)以鱼油组最好, 猪油组最差, 且 2 组间存在显著差异($P < 0.05$)。SGR、PER 和 FCR 在豆油组、菜籽油组、亚麻籽油组间无显著差异($P > 0.05$)。不同脂肪源对全鱼粗蛋白质和粗脂肪含量有显著影响($P < 0.05$), 但对全鱼干物质和粗灰分含量无显著影响($P > 0.05$)。鱼油组全鱼粗蛋白质含量最高, 而粗脂肪含量最低。肝胰脏脂蛋白脂酶(LPL)活性以鱼油组最高, 其次是豆油组、菜籽油组、亚麻籽油组, 以猪油组最低。肝胰脏苹果酸脱氢酶(MDH)活性表现为: 亚麻籽油组 > 豆油组 > 鱼油组 > 菜籽油组 > 猪油组。猪油组肝胰脏超氧化物歧化酶(SOD)活性显著低于其他各组($P < 0.05$), 而其他各组间差异不显著($P > 0.05$)。不同脂肪源对肝胰脏总抗氧化能力(T-AOC)有显著影响($P < 0.05$), 以鱼油组最高, 猪油组最低。由此可见, 鱼油是鲤鱼较适宜的脂肪源, 而猪油不适宜作为鲤鱼的单一脂肪源, 会损害肝胰脏健康, 进而影响鱼体生长。

关键词: 鲤鱼; 脂肪源; 生长性能; 脂质代谢; 抗氧化能力

中图分类号: S963

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2012)07-1368-08

我国水产养殖业高效、持续发展需要高能低氮的饲料策略, 而饲料中的脂肪是鱼类主要的能量来源。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^[1]。鱼油作为水产饲料的优质脂肪源一直备受青睐, 但目前因其资源、价格以及含有二噁英和多氯联苯类不安全物质等问题, 迫使饲料企业去寻找鱼油替代品^[2]。已有的研究表明, 在满足鱼体必需脂肪酸需求的前提下, 其他油脂替代鱼油不仅不会对鱼体生长产生负面影响^[3], 而且适宜的替代还会有更好的促生长效果^[4], 但是不同脂肪源会对鱼类

脂质代谢和抗氧化能力产生不同的影响^[5-7]。鲤鱼(*Cyprinus carpio*)是我国主要的经济鱼类, Schwarz 等^[8]和 Steffens 等^[9]相继报道了不同单一脂肪源对鲤鱼生长和体组成的影响, 但均未涉及脂质代谢和抗氧化能力方面的研究。结合本课题组近年来有关脂质代谢调控和机制方面的研究, 本试验以鲤鱼为研究对象, 通过测定其生长性能、体组成、脂质代谢和抗氧化能力等指标综合评价鱼油、豆油、菜籽油、亚麻籽油和猪油这 5 种脂肪源的营养效价, 为油脂的科学使用提供理论依据。

收稿日期: 2012-02-10

基金项目: 通威股份项目资助

作者简介: 潘瑜(1988—), 男, 重庆渝北人, 硕士研究生, 从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: 381831211@qq.com

* 通讯作者: 林仕梅, 副教授, 硕士生导师, E-mail: linsml98@163.com

1 材料与方法

1.1 试验饲料

首先以秘鲁红鱼粉(粗蛋白质含量 64.5%)、豆粕(粗蛋白质含量 43.0%, 预压浸提)、菜籽粕(粗蛋白质含量 37.0%, 预压浸提)和棉籽粕(粗蛋白质含量 43.0%, 预压浸提)作为蛋白质源配制基础饲料,然后在基础饲料中分别添加 1.5% 的鱼

油、豆油、菜籽油、亚麻籽油和猪油,制成 5 种等能等氮(粗蛋白质含量 35%, 总能 15 MJ/kg)的试验饲料,其组成及营养水平见表 1。各饲料原料均粉碎过 40 目筛并混合均匀,饲料调质温度为 80 °C,制成直径为 1.5 mm 的硬颗粒饲料,60 °C 烘干后保存于 -15 °C 冰柜中备用。

表 1 试验饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)

%

项目 Items	鱼油组 FO group	豆油组 SO group	菜籽油组 RO group	亚麻籽油组 LO group	猪油组 L group
原料 Ingredients					
鱼粉 Fish meal	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
豆粕 Soybean meal	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
菜籽粕 Rapeseed meal	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
棉籽粕 Cottonseed meal	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
次粉 Wheat middlings	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
米糠 Rice bran	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4
鱼油 Fish oil	1.5				
豆油 Soybean oil		1.5			
菜籽油 Rapeseed oil			1.5		
亚麻籽油 Linseed oil				1.5	
猪油 Lard					1.5
氯化胆碱 Choline chloride	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
维生素预混料 Vitamin premix ¹⁾	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
矿物质预混料 Mineral premix ²⁾	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
合计 Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
营养水平 Nutrient levels					
粗蛋白质 Crude protein	35.2	35.1	35.2	35.1	35.2
粗脂肪 Crude lipid	4.1	4.1	4.0	4.1	4.0
粗灰分 Crude ash	8.2	8.3	8.2	8.3	8.2
总能 Gross energy/(MJ/kg)	15.6	15.6	15.5	15.6	15.5

¹⁾ 维生素预混料为每千克饲料提供 Vitamin premix provided the following per kg of diet: VA 25 mg, VD₃ 5 mg, VE 40 mg, VC 500 mg, VB₁ 12 mg, VB₆ 6 mg, VB₁₂ 0.05 mg, VK₃ 5 mg, 核黄素 riboflavin 5 mg, 肌醇 inositol 100 mg, 泛酸 pantothenic acid 30 mg, 烟酸 niacin 35 mg, 叶酸 folic acid 2 mg, 生物素 biotin 0.06 mg, 乙氧基喹啉 ethoxyquin 150 mg, 次粉 wheat middlings 14.09 g。

²⁾ 矿物质预混料为每千克饲料提供 Mineral premix provided the following per kg of diet: KCl 200 mg, KI 60 mg, CoCl₂ · 6H₂O 7 mg, CuSO₄ · 5H₂O 14 mg, FeSO₄ · H₂O 400 mg, ZnSO₄ · H₂O 200 mg, MnSO₄ · H₂O 80 mg, Na₂SeO₃ · 5H₂O 65 mg, MgSO₄ · 7H₂O 3 000 mg, Ca(H₂PO₄)₂ · H₂O 20 g, NaCl 136 mg。

1.2 饲养管理

试验鱼选用当年培育的鲤鱼苗,取自重庆璧山县鱼种场。试验鱼驯食适应环境 10 d 后,选取体质健壮、规格整齐、平均初重为(5.83 ± 0.01) g 的鲤鱼 750 尾,随机分成 5 组,每组 3 个重复,每个

重复 50 尾鱼。试验鱼饲养在室内淡水循环玻璃水族箱(有效体积为 300 L)中,养殖水源为曝气自来水,养殖全程水温为(26.8 ± 2.2) °C, pH 为 7.2 ± 0.3, 溶解氧为 > 6.2 mg/L, 氨氮 < 0.50 mg/L, 亚硝酸盐氮 < 0.06 mg/L。日投喂率

为体重的 4% ~ 6%，每天 08:30、12:30 和 17:30 各投喂 1 次，每天早上清除箱内粪便，并换水 1/4。饲养时间为 8 周。

1.3 样品制备与分析

饲养试验结束，禁食 24 h 后称重，每箱取 5 尾鱼作为全鱼样品；每箱另取 5 尾鱼采用捣毁脊髓法处死，分离出肝胰脏，并立即放入液氮罐中速冻，然后转入 -80 °C 低温冰箱保存。肝胰脏用生理盐水以 1:9 的质量体积比冰浴匀浆，匀浆液在 3 000 × g 4 °C 条件下离心 10 min，取上清液作为酶活性分析样品，-20 °C 保存备用。

饲料原料及鱼体样品均在 105 °C 烘干至恒重，然后进行营养成分测定。粗蛋白质含量采用凯氏定氮法测定，粗脂肪含量采用索氏抽提法测定，粗灰分含量采用高温(550 °C)灰化法测定。

血清脂蛋白酯酶(LPL)、苹果酸脱氢酶(MDH)、超氧化物歧化酶(SOD)活性和总抗氧化能力(T-AOC)采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒进行测定。SOD 的活性单位定义：每毫克组织蛋白质在 1 mL 反应液中 SOD 抑制率达 50% 时所反应的 SOD 量为 1 个酶活性单位；T-AOC 单位定义：在 37 °C 时，每分钟每毫克组织蛋白质使反应体系的吸光度(OD)值增加 0.01 时为 1 个 T-AOC 单位；MDH 的活性单位定义：每毫克组织蛋白质在本反应系统中 1 min 内催化 1 μmol 的底物转变成产物为 1 个酶活性单位；LPL 的活性单位定义：每毫克组织蛋白质每小时在反应系统中产生 1 μmol 的游离脂肪酸(FFA)时为 1 个酶

活性单位。组织中蛋白质含量采用考马斯亮蓝法测定。

1.4 计算公式

特定生长率(specific growth rate, SGR, %/d) = $100 \times [\ln \text{末重}(\text{g}) - \ln \text{初重}(\text{g})] / \text{试验天数}(\text{d})$;

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER, %) = $100 \times \text{鱼体增重}(\text{g}) / \text{蛋白质摄入量}(\text{g})$;

饲料系数(feed conversion ratio, FCR) = $\text{干物质摄入量}(\text{g}) / \text{鱼体增重}(\text{g})$ 。

1.5 数据处理与分析

数据均以平均值 ± 标准误表示，采用 SPSS 11.0 对所得数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA)，若差异达到显著水平，则采用 Duncan 氏法进行多重比较，显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 饲料中不同脂肪源对鲤鱼生长性能的影响

由表 2 可知，SGR、PER 均以鱼油组最高，猪油组最低，其中 SGR 鱼油组显著高于其他各组，猪油组显著低于除豆油组外的其他各组($P < 0.05$)；PER 猪油组显著低于其他各组($P < 0.05$)，鱼油组与豆油组、菜籽油组、亚麻籽油组间无显著差异($P > 0.05$)。FCR 以猪油组最高，鱼油组最低，且鱼油组显著高于其他各组($P < 0.05$)，猪油组显著低于其他各组($P < 0.05$)。SGR、PER 和 FCR 在豆油组、菜籽油组、亚麻籽油组间无显著差异($P > 0.05$)。

表 2 不同脂肪源对鲤鱼生长性能的影响

Table 2 Effects of different lipid sources on growth performance of common carp

项目 Items	鱼油组 FO group	豆油组 SO group	菜籽油组 RO group	亚麻籽油组 LO group	猪油组 L group
初重 IBW/g	5.80 ± 0.03	5.83 ± 0.02	5.83 ± 0.05	5.81 ± 0.03	5.83 ± 0.03
末重 FBW/g	32.9 ± 0.8 ^a	30.7 ± 0.8 ^{bc}	31.3 ± 1.1 ^b	31.0 ± 0.6 ^b	29.5 ± 0.6 ^c
特定生长率 SGR/(%/d)	3.09 ± 0.04 ^a	2.96 ± 0.06 ^{bc}	3.01 ± 0.05 ^b	2.98 ± 0.03 ^b	2.89 ± 0.03 ^c
饲料系数 FCR/%	1.45 ± 0.02 ^a	1.53 ± 0.01 ^b	1.50 ± 0.03 ^b	1.50 ± 0.03 ^b	1.64 ± 0.03 ^c
蛋白质效率 PER/%	2.10 ± 0.06 ^a	2.02 ± 0.06 ^a	2.08 ± 0.04 ^a	2.08 ± 0.04 ^a	1.91 ± 0.04 ^b

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 饲料中不同脂肪源对鲤鱼体组成的影响

由表 3 可知，全鱼粗蛋白质含量鱼油组显著高于其他各组($P < 0.05$)，而其他各组间无显著差

异($P > 0.05$)；全鱼粗脂肪含量以鱼油组最低，猪油组最高，其中鱼油组显著高于除亚麻籽油组外的其他各组($P < 0.05$)，猪油组显著低于鱼油组和

亚麻籽油组 ($P < 0.05$), 豆油组、菜籽油组、亚麻籽油组间无显著差异 ($P > 0.05$); 全鱼干物质和粗灰

表 3 不同脂肪源对鲤鱼体组成的影响

Table 3 Effects of different lipid sources on body composition of common carp

项目 Items	鱼油组 FO group	豆油组 SO group	菜籽油组 RO group	亚麻籽油组 LO group	猪油组 L group
干物质(湿重基础) DM (wet matter basis)	28.3 ± 0.8	27.7 ± 0.9	27.5 ± 0.2	27.1 ± 1.0	27.0 ± 0.4
粗蛋白质(干物质基础) Crude protein (DM basis)	62.9 ± 0.1 ^a	58.3 ± 0.1 ^b	58.6 ± 0.2 ^b	59.8 ± 0.5 ^b	58.0 ± 1.5 ^b
粗脂肪(干物质基础) Crude lipid (DM basis)	26.2 ± 0.5 ^c	30.2 ± 1.1 ^{ab}	29.3 ± 1.8 ^{ab}	27.9 ± 2.2 ^{bc}	31.9 ± 0.6 ^a
粗灰分(干物质基础) Crude ash (DM basis)	9.4 ± 0.2	9.4 ± 0.6	9.6 ± 0.3	9.8 ± 0.5	9.1 ± 0.2

2.3 饲料中不同脂肪源对鲤鱼肝胰脏脂质代谢和抗氧化指标的影响

由表 4 可知, LPL 活性以鱼油组最高, 其次是豆油组、菜籽油组、亚麻籽油组, 以猪油组最低, 除菜籽油组与亚麻籽油组间差异不显著 ($P > 0.05$) 外, 其他组间差异均显著 ($P < 0.05$)。MDH 活性以亚麻籽油组最高, 显著高于其他各组 ($P <$

0.05); 以猪油组最低, 显著低于其他各组 ($P < 0.05$)。SOD 活性猪油组显著低于其他各组 ($P < 0.05$), 而其他各组间差异不显著 ($P > 0.05$)。T-AOC 表现为鱼油组 > 豆油组 > 菜籽油组 > 亚麻籽油组 > 猪油组, 除菜籽油组与豆油组、亚麻籽油组差异显著不显著 ($P > 0.05$) 外, 其余组间差异显著 ($P < 0.05$)。

表 4 不同脂肪源对鲤鱼肝胰脏脂质代谢和抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of different lipid sources on indices of lipid metabolism and antioxidant in hepatopancreas of common carp

项目 Items	鱼油组 FO group	豆油组 SO group	菜籽油组 RO group	亚麻籽油组 LO group	猪油组 L group
脂质代谢指标 Lipid metabolism indices					
脂蛋白脂酶 LPL/(U/g prot)	8.84 ± 0.34 ^a	8.05 ± 0.09 ^b	7.48 ± 0.15 ^c	7.03 ± 0.29 ^c	4.25 ± 0.30 ^d
苹果酸脱氢酶 MDH/(U/mg prot)	12.70 ± 0.50 ^c	18.77 ± 0.51 ^b	11.77 ± 0.51 ^c	21.17 ± 0.65 ^a	6.90 ± 0.70 ^d
抗氧化指标 Antioxidant indices					
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mg prot)	151.4 ± 6.7 ^a	147.5 ± 2.4 ^a	157.5 ± 8.0 ^a	148.9 ± 5.5 ^a	129.5 ± 10.3 ^b
总抗氧化力 T-AOC/(U/mg prot)	2.27 ± 0.05 ^a	1.97 ± 0.13 ^b	1.82 ± 0.08 ^{bc}	1.75 ± 0.10 ^c	1.49 ± 0.08 ^d

3 讨论

3.1 不同脂肪源对鲤鱼生长性能的影响

本试验结果显示, 鱼油、豆油、菜籽油、亚麻籽油和猪油作为单一脂肪源, 对鲤鱼的生长性能可产生不同的影响, 以鱼油促生长效果最好, 而猪油不利于鱼体的生长。类似的研究结果在草鱼^[10]、

罗非鱼^[5]和异育银鲫^[11]上已有报道。然而, Steffens 等^[9]却发现在高鱼粉(26%)饲料中添加鱼油、玉米油、葵花籽油、菜籽油作为单一脂肪源对鲤鱼的生长没有影响, 与本试验结果存在差异, 这可能是饲料配方差异所致。与 Steffens 等^[9]的试验相比, 本试验基础饲料中鱼粉的用量仅为 9%, 可能是高鱼粉饲料中含有足够的高不饱和脂肪酸(HUFA)可以满足鱼体正常生长的需求。

脂肪源的差异实质上就是脂肪酸组成及比例(n-3/n-6)的差异,脂肪酸组成及比例可对鱼体生长产生不同的影响^[12]。鱼油富含具有重要生理功能的HUFA^[13],这可能是本试验中鱼油组鲤鱼生长效果较好的原因。本试验中菜籽油组和亚麻籽油组鲤鱼也表现出较好的促生长效果,可能是由于菜籽油中丰富的油酸能优先被鱼类 β 氧化供能^[14],加之,鲤鱼能将亚麻籽油中的亚麻酸转化为二十二碳六烯酸(DHA)和二十碳五烯酸(EPA)^[15]。已有研究发现,黄鲮^[16]和罗非鱼^[5]利用豆油的能力与鱼油接近,优于菜籽油和猪油。这与本试验的研究结果不一致,可能是鱼种不同,或者是豆油中含有大量的亚油酸致使饲料中n-3/n-6过低所致。Giovanni等^[17]在丁鲷的研究中也有类似的发现,即饲料中n-3/n-6越低,丁鲷生长效果越差。本试验中猪油组鲤鱼生长效果最差,可能与其含有大量饱和脂肪酸有关。已有研究表明,饲料中饱和脂肪酸C16:0和C18:0含量高会降低动物对饲料脂肪和干物质的消化率^[18-19],从而影响生长。

3.2 不同脂肪源对鲤鱼体组成的影响

已有研究表明,饲料组成对鱼体组成有重要影响^[20]。本试验发现,鱼油组全鱼粗脂肪含量最低,粗蛋白质含量最高;而猪油组全鱼粗脂肪含量最高,粗蛋白质含量最低。类似的结果在草鱼^[10]上已有报道。鱼油富含n-3 HUFA,会抑制脂肪合成,继而降低脂肪沉积量^[21],此外,n-3 HUFA还能促进蛋白质在肌肉中的沉积^[22],这可能是鱼油组全鱼粗脂肪含量最低、粗蛋白质含量最高的原因。猪油影响脂肪和蛋白质沉积量的机理还未见报道,这可能与不同脂肪酸调控脂质代谢酶活性密切相关。

3.3 不同脂肪源对鲤鱼肝胰脏脂质代谢的影响

鱼类组织中脂质的积累和脂质合成与外源性脂质进入密切相关。动物体内MDH、葡萄糖-6-磷酸脱氢酶(G-6-PD)活性的高低直接关系到烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸(NADPH)的生成^[23-24],而体内NADPH的含量会直接影响脂类物质的合成^[25]。Shikata等^[26]研究发现,n-3 HUFA和硬脂酸(SA)比亚油酸更能抑制鲤鱼肝胰脏MDH活性。随后,周继术等^[6]的研究指出,鱼油组鲤鱼肝胰脏MDH活性显著低于豆油组。本试验中鱼油或猪油较豆油和亚麻籽油能够显著降低

鲤鱼肝胰脏MDH活性,说明富含HUFA的鱼油和富含SA的猪油抑制了鲤鱼肝胰脏脂肪酸的合成。

LPL催化水解脂蛋白,并释放出游离脂肪酸以供机体贮存或氧化,因而在机体脂质代谢调控上起关键作用^[27]。目前,有关不同脂肪源对鱼类肝胰脏LPL活性影响的研究在异育银鲫^[7]、虹鳟^[28]、舌齿鲈^[29]等鱼类上已有报道,研究结果也因养殖品种不同而有所差异。本研究发现,鱼油组肝胰脏LPL活性最大,而猪油组则最小。王煜恒等^[7]的研究也证实不同脂肪源对异育银鲫肝胰脏LPL活性产生不同的影响。这可能是由于随着脂肪酸不饱和度的增加,脂肪酸促进LPL的基因mRNA表达的作用加强,进而诱导肝胰脏LPL合成增加所致^[30]。鱼类肝脏是脂质代谢和贮存的重要场所。已有研究证实,LPL活性的升高会增加鱼类患脂肪肝的风险^[30-31]。但王煜恒等^[7]却发现LPL活性最高的鱼油组其肝脂含量最低。肝胰脏LPL活性的升高将导致肝胰脏游离脂肪酸含量的增加,而增加的游离脂肪酸是用于氧化供能还是用于贮存呢?这是值得我们进一步深入研究的问题。

3.4 不同脂肪源对鲤鱼肝胰脏抗氧化能力的影响

脂质过氧化会破坏细胞膜的正常结构和功能^[32]。一般认为,组织中多不饱和脂肪酸(PUFA)的含量及其不饱和程度直接决定了可能发生的脂质过氧化程度^[33]。T-AOC是机体内抗氧化能力的总体体现,是酶促[SOD、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽硫转移酶(GST)等]和非酶促(维生素、氨基酸和金属蛋白等)2方面因子抗氧化能力的总和。SOD对机体的氧化与抗氧化平衡起着至关重要的作用,它能清除超氧阴离子(O_2^-),保护细胞免受损伤。本试验中,猪油组SOD活性和T-AOC显著低于其他各组,表明猪油作为鲤鱼饲料单一脂肪源会损害鲤鱼肝胰脏健康。鱼油组SOD活性与植物油组(豆油组、菜籽油组、亚麻籽油组)间没有显著性差异,但T-AOC显著高于其他各组,这与吉红等^[31,34]发现HUFA能提高草鱼和鲤鱼肝胰脏T-AOC的研究结果类似。然而,Huang等^[5]发现罗非鱼肝胰脏脂质过氧化物丙二醛(MDA)的含量以HUFA组最高,其次是鱼油组、豆油组,以猪油组最低。Peng等^[35]也发现豆油替代鱼油能降低黑鯛肝胰脏丙二醛含

量。目前,有关脂肪源对组织抗氧化能力影响的研究结果存在矛盾,可能是由于鱼种不同或饲料脂肪含量不同所致。

4 结 论

① 饲料中脂肪源不同会影响鲤鱼的生长性能、脂肪代谢和抗氧化能力。

② 作为鲤鱼单一的脂肪源,鱼油的促生长效果要优于豆油、菜籽油和亚麻籽油;而猪油不适宜作为鲤鱼单一的脂肪源,会损害肝胰脏健康,进而阻碍鱼体生长。

参考文献:

- [1] 谭肖英,刘永坚,田丽霞,等. 鱼类对饲料脂肪源利用的研究进展[J]. 饲料广角,2007(5):38-41.
- [2] STICKNEY R R. Lipid requirement of some warm water species[J]. Aquaculture,1989,79:145-156.
- [3] FRANCIS D S, TURCHINI G M, JONES P L, et al. Effects of dietary oil source on growth and fillet fatty acid composition of murray cod, *Maccullochella peelii peelii* [J]. Aquaculture, 2006, 253: 547-556.
- [4] 陈家林,韩冬,朱晓鸣,等. 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[J]. 水生生物学报,2011,35(6):988-997.
- [5] HUANG C H, HUANG M C, HOU P C. Effect of dietary lipids on fatty acid composition and lipid peroxidation in sarcoplasmic reticulum of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1998, 120: 331-336.
- [6] 周继术,吉红,王建华,等. 鱼油对鲤生长及脂质代谢的影响[J]. 中国海洋大学学报,2008,38(2):275-280.
- [7] 王煜恒,王爱民,刘文斌,等. 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[J]. 动物营养学报,2011,23:604-614.
- [8] SCHWARZ F J, KIRCHGESSNER M, STEINHART H, et al. Influence of different fats with varying additions of α -tocopheryl acetate on growth and body composition of carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Aquaculture, 1988, 69: 57-67.
- [9] STEFFENS W, WIRTH M, RENNERT B. Effect of adding various oils to the diet on growth, feed conversion and chemical composition of carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Archives of Animal Nutrition, 1994, 47(4):381-389.
- [10] 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.
- [11] 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):1439-1446.
- [12] SARGENT J, BELL G, MCEVOY L, et al. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish [J]. Aquaculture, 1999, 177: 191-199.
- [13] JI H, LI J, LIU P. Regulation of growth performance and lipid metabolism by dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 2011, 159: 49-56.
- [14] 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.
- [15] TAKEUCHI T. Essential fatty acid requirements in carp [J]. Archives of Animal Nutrition, 1996, 49: 23-32.
- [16] 周秋白,朱长生,吴华东,等. 饲料中不同脂肪源对黄鳝生长和组织中脂肪酸含量的影响[J]. 水生生物学报,2011,35(2):246-255.
- [17] GIOVANNI M T, VITTORIO M M, TIZIANA M, et al. Effects of dietary lipid source on fillet chemical composition, flavour volatile compounds and sensory characteristics in the freshwater fish tench (*Tinca tinca* L.) [J]. Food Chemistry, 2007, 102: 1144-1155.
- [18] 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 acid [J]. Aquaculture, 2003, 225: 295-307.
- [19] 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.
- [20] HANSEN A C, ROSEN LUND G, KARLSEN Ø, et al. Total replacement of fish meal with plant proteins in diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). I. Effects on growth and protein retention [J]. Aquaculture, 2007, 272: 599-611.
- [21] RIBEIRO P A P, LOGATO P V R, PAULA D A D G, et al. Effect of different oils in the diet on lipogenesis and the lipid profile of Nile tilapias [J]. Revista

- Brasileira de Zootecnia, 2008, 37: 1331 - 1337.
- [22] 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]. The Journal of Nutrition, 2001, 131: 1535 - 1543.
- [23] SCOTT R A, COMNELIUS S G, MERSMANN H J. Effects of age on lipogenesis and lipolysis in lean and obese swine [J]. Journal of Animal Science, 1981, 52: 505 - 511.
- [24] LEE Y B, KAUFFMAN R G. Cellularity and lipogenic enzyme changes activities of porcine intramuscular adipose tissue [J]. Journal of Animal Science, 1974, 38: 538 - 544.
- [25] MERSMAN H J, POND W G, YEN J T. Use of carbohydrate and fat as energy source by obese and lean swine [J]. Journal of Animal Science, 1984, 58: 894 - 902.
- [26] SHIKATA T, SHIMENO S. Metabolic response to dietary stearic acid, linoleic acid, and highly unsaturated fatty acid in carp [J]. Fisheries, 1994, 60 (6): 735 - 739.
- [27] AUWERX J, LEROY P, SCHOONJANS K. Lipoprotein lipase; recent contributions from molecular biology [J]. Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences, 1992, 29: 243 - 268.
- [28] ARANTZAMENDI L. Effect of dietary lipids on production, composition and lipolytic activity in commercial fish [D]. Ph. D. Thesis. Gran Canaria; University of Las Palmas de Gran Canaria, 2002.
- [29] RICHARD N, MOURENTE G, KAUSHIK S, et al. Replacement of a large portion of fish oil by vegetable oils does not affect lipogenesis, lipid transport and tissue lipid uptake in European seabass (*Dicentrarchus labrax* L.) [J]. Aquaculture, 2006, 261: 1077 - 1087.
- [30] 梁旭方, 李月琴, 李贵生, 等. 真鲷脂蛋白脂肪酶基因顺式元件 PPRE 及在肝脏活体调控作用 [J]. 热带海洋学报, 2004, 23(4): 49 - 55.
- [31] 吉红, 曹艳姿, 刘品, 等. 饲料中 HUFA 影响草鱼脂质代谢的研究 [J]. 水生生物学报, 2009, 33(5): 881 - 889.
- [32] KANAZAWAK K. Hepatotoxicity caused by dietary secondary products originating from lipid peroxidation [M]//FRIEDMAN M. Nutritional and toxicology consequences of food processing. New York: Plenum Press, 1991: 237 - 253.
- [33] PORTER N A, CALDWELL S E, MILLS K A. Mechanisms of free radical oxidation of unsaturated lipids [J]. Lipids, 1995, 30: 277 - 290.
- [34] 吉红, 周继术, 曹福余, 等. DHA 对鲤鱼抗氧化能力影响的初步研究 [J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(2): 142 - 149.
- [35] PENG S M, CHEN L Q, QIN J G, et al. Effect of replacement of dietary fish oil by soybean oil on growth performance and liver biochemical composition in juvenile black sea bream, *Acanthopagrus schlegelii* [J]. Aquaculture, 2008, 276: 154 - 161.

Effects of Different Lipid Sources in Diets on Growth Performance, Lipid Metabolism and Antioxidant Ability of Common Carp (*Cyprinus carpio*)

PAN Yu¹ MAO Shuhong¹ GUAN Yong¹ LIN Xin¹ LIN Shimei^{1,2*} GAO Qiping³ LUO Li^{1,2}
(1. College of Animal Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Key Laboratory of Freshwater Fish Resources and Reproductive Development of Ministry of Education, Chongqing 400716, China; 3. Tongwei Fisheries Research Institute, Chengdu 610041, China)

Abstract: A feeding experiment was conducted to investigate the effects of different lipid sources in diets on growth performance, body composition, and activities of lipid metabolism related enzymes and antioxidant enzymes in hepatopancreas of common carp (*Cyprinus carpio*). On the basis of a practical diet, 5 experimental diets were formulated to contain 1.5% lipid originated from fish oil (FO group), soybean oil (SO group), rapeseed oil (RO group), linseed oil (LO group) and lard (L group), respectively. Seven hundred and fifty common carp with an average initial body weight of (5.83 ± 0.01) g were randomly divided into 5 groups with 3 replicates in each group and 50 fish in each replicate, and each group was fed one of the five experimental diets. The experiment lasted for 8 weeks. The results showed as follows: the best and the lowest specific growth rate (SGR), protein efficiency ratio (PER) and feed conversion ratio (FCR) were found in FO group and L group, respectively, and there was significant difference in those indices between FO group and L group ($P < 0.05$), while no significant difference among SO group, RO group and LO group ($P > 0.05$). Different lipid sources significantly affected the contents of crude protein and crude lipid of whole fish ($P < 0.05$), but did not affect the contents of dry matter and crude ash of whole fish ($P > 0.05$). Crude protein content of whole fish in the FO group was the highest ($P < 0.05$), but its crude lipid content was the lowest. The hepatopancreas lipoprotein lipase (LPL) activity in FO group was the highest, next came SO group, RO group and LO group, and the lowest was in L group. The hepatopancreas malic dehydrogenase (MDH) activity showed that LO group > SO group > FO group > RO group > L group. The hepatopancreas superoxide dismutase (SOD) activity in L group was significantly higher than that in other groups ($P < 0.05$), while no significant difference was found among LO group, SO group, FO group and RO group ($P > 0.05$). Different lipid sources significantly affected the hepatopancreas total antioxidant capacity (T-AOC) ($P < 0.05$), the highest was in FO group and the lowest was in L group. These results suggest that fish oil is the suitable lipid source for common carp, while lard is unsuitable as a single lipid source for common carp, because it will damage the hepatopancreas health, hinder the growth of fish. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(7):1368-1375]

Key words: common carp; lipid sources; growth performance; lipid metabolism; antioxidant ability

* Corresponding author, associate professor, E-mail: linsm198@163.com