

不同脂肪源对异育银鲫形体与血液生化指标的影响

於叶兵^{1a, 1b, 2a, 2b}, 江世贵^{1a, 1b}, 林黑着^{1a, 1b}, 王煜恒³, 王爱民^{2a, 2b*}

(1.中国水产科学研究院 a.南海水产研究所; b.水产种质资源与养殖技术重点开放实验室, 广东 广州 510300;
2.盐城工学院 a.海洋技术系; b.江苏省沿海池塘养殖生态重点实验室, 江苏 盐城 224051; 3.南京农业大学 动物科技学院, 江苏 南京 210095)

摘 要: 在基础料中分别添加 4% 的鱼油、豆油、猪油、花生油和混合油(鱼油、豆油、猪油质量比为 3:4:3), 制成 5 种等氮试验饲料, 饲喂初始体质量为(6.04±0.05) g 的异育银鲫 60 d, 以考察 5 种脂肪源对异育银鲫形体指标和血清生化指标的影响。结果表明: 猪油组的肝体指数与脏体指数均最高, 猪油组肝体指数显著高于鱼油组, 猪油组脏体指数显著高于混合油组($P<0.05$); 各试验组鱼体肥满度差异不显著($P>0.05$); 各试验组总蛋白(TP)含量和白蛋白(ALB)含量的变化趋势相似, 均为鱼油组显著高于猪油组($P<0.05$), 其余各组之间差异不显著($P>0.05$); 各试验组谷草转氨酶(AST)活性和谷丙转氨酶(ALT)活性的变化趋势相似, 均为猪油组显著高于鱼油组($P<0.05$), 其余各试验组之间差异不显著($P>0.05$); 鱼油组甘油三酯(TG)含量最低, 豆油组其次, 均显著低于混合油组($P<0.05$); 鱼油组高密度脂蛋白(HDL-C)含量最高, 花生油组其次, 均显著高于猪油组($P<0.05$); 各试验组球蛋白(GLB)、胆固醇(CHO)、葡萄糖(BGLU)、低密度脂蛋白(LDL-C)、皮质醇、胰高血糖素(Glu)和胰岛素(Ins)的含量和碱性磷酸酶(AKP)活性差异不显著($P>0.05$)。在本试验 5 种脂肪源中, 鱼油对异育银鲫形体与血液生化指标的作用效果最好, 豆油、花生油和混合油其次, 猪油最差。

关 键 词: 异育银鲫; 脂肪源; 形体; 血液生化指标

中图分类号: S965.117

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2012)02-0192-06

Effects of dietary lipid sources on the morphology and biochemical index of *Carassius auratus* Gibelio

YU Ye-bing^{1a, 1b, 2a, 2b}, JIANG Shi-gui^{1a, 1b}, LIN Hei-zhao^{1a, 1b}, WANG Yu-heng³, WANG Ai-ming^{2a, 2b*}

(1. a. South China Sea Fisheries Research Institute; b. Chinese Academy of Fishery Sciences China Key Laboratory of Fisheries Genetic Resources & Aquaculture, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Guangzhou 510300, China;
2. a. Department of Ocean Technology; b. Key Laboratory of Aquaculture and Ecology of Coastal Pool of Jiangsu Province, Yancheng Institute of Technology, Yancheng, Jiangsu 224051, China; 3. College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: To investigate the effect of dietary lipid on the body and blood biochemical parameters of *Carassius auratus* Gibelio, five diets containing 4% of either fish oil, soybean oil, lard, peanut oil or mixed oil (fish oil:soybean oil:lard=3:4:3) were fed to five groups of fish (average initial weight(6.04±0.05) g) respectively for 60 d. The results showed that the hepatosomatic index (HSI) and visceral-somatic index in lard group were the highest with HSI significantly higher than that in fish oil group and with visceral-somatic index significantly higher than that in mixed oil group ($P<0.05$). There was no significant difference in condition factor among different groups ($P>0.05$). The contents of total protein (TP) and albumin (ALB) shared the same change pattern with those significantly higher in fish oil group than in lard group ($P<0.05$) and with no significant difference among other groups ($P>0.05$). The activity change of glutamic oxaloacetic transaminase (AST) was similar to glutamic pyruvic transaminase (ALT), which were both

收稿日期: 2011-10-17

基金项目: 江苏省科学技术厅农业科技支撑项目(BE2009373); 中国水产科学研究院水产种质资源与养殖技术重点开放实验室开放基金项目(2008A004); 盐城工学院人才引进项目(XKR2010056)

作者简介: 於叶兵(1980—), 男, 江苏南通人, 硕士, 讲师, 主要从事水产经济动物营养与增养殖学研究, yuyebing2005@126.com;

*通信作者, bluesewam@ycit.cn

significantly higher in lard group than in fish oil group ($P<0.05$) and no significant difference was observed among other groups ($P>0.05$). The concentration of triglyceride (TG) in fish oil group was the lowest followed by that in the soybean oil group, which were both significantly lower than that in mixed oil group ($P<0.05$). The concentration of the high density lipoprotein-cholesterol (HDL-C) in fish oil group was the highest followed by peanut oil, which were both significantly higher than that in lard group ($P<0.05$). As for GLB, total cholesterol (TC), blood glucose (BGLU), low density lipoprotein-cholesterol (LDL-C), alkaline phosphatase (AKP), cortisol, insulin (Ins) and glucagons (Glu), there was no significant change among five groups ($P>0.05$). These results explicated that the fish oil was the best suitable lipid source followed by soybean oil, peanut oil and mixed oil, while lard was the least suitable.

Key words: *Carassius auratus* Gibelio; dietary lipid source; morphology ; blood biochemical index

脂肪是水生动物生长与发育所必需的营养物质和能量来源,除了为鱼类提供必需的脂肪酸外,还是脂溶性维生素 A、D、E、K 的载体,其中的胆固醇和磷脂对维持细胞生物膜结构的稳定性起着重要作用^[1]。水生动物对脂肪的需求本质上是对脂肪酸的需求。不同油脂所含脂肪酸的差异较大,选择合适的脂肪源可以提高鱼类的生长速率、减少对蛋白质的摄取,从而有效降低饲料的成本。不同脂肪源对真鲷^[2]、太平洋鲑^[3]和黄鳝^[4]等的生长以及对齐口裂腹鱼^[5]和施氏鲟^[6]的部分血清指标影响显著,对异育银鲫的生长、消化酶活性与体组成也有影响^[7-8],但对异育银鲫血液生化指标的影响尚未见报道。鱼体的各项血液参数是重要的生理、病理和环境毒理学指标^[9-11],被广泛用来评价鱼体的营养和健康状况及鱼体对环境的适应状况。笔者研究不同脂肪源对异育银鲫血液生化指标的影响,旨在为鱼类饲料脂肪源的选择和脂肪代谢研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材 料

供试异育银鲫(*Carassius auratus* Gibelio)为盐城市某良种场孵化的同一批鱼种,暂养 1 周后,挑选其中健康且规格一致的 525 尾,平均初始体质量为(6.04±0.05) g/尾。

以优质的秘鲁鱼粉、豆粕和菜粕为主要蛋白源;选用鱼油、豆油、花生油、猪油和混合油(鱼油、豆油、猪油的质量比为 3 4 3)为脂肪源。鱼油和猪油购买于盐城殷氏饲料厂;豆油和花生油购买于市场。

1.2 试验设计

试验在江苏省沿海池塘养殖生态重点实验室的循环流水养殖系统中进行。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(以下分别简称为鱼油组、豆油组、猪油组、花生油组、

混合油组),制成 5 种等氮试验饲料。将 525 尾异育银鲫随机分为 5 组,每组 3 个重复,即每个水族箱中投放 35 尾鱼,共 15 个水族箱。按试验要求分别于各箱投喂试验饲料。整个饲养试验为 60 d。饲养异育银鲫的 15 个圆形纤维水族箱的直径均为 82 cm,实际水深 70 cm,流量约 5 L/min。

试验期间每天投饲 3 次(7:00, 12:00, 17:00),每天按照鱼体质量的 3%~5%投喂,根据水温、水质、摄食情况等进行调整,不定期吸污。试验用水为充分曝气的自来水,保持连续充气,溶解氧含量大于 5 mg/L,水温(24±3)℃,pH 6.8~8.0。

1.3 饲料配制

将饲料原料粉碎,过孔径 0.190 mm 的筛网,充分混匀,加工成直径 2 mm 的颗粒饲料,自然晾干后置于 - 20℃冰箱中保存备用。各组试验饲料(干物质)的配方相同,鱼粉、豆粕、菜粕、棉粕、花生粕、次粉、麸皮、油脂、磷酸二氢钙、预混剂、沸石粉分别占 10%、23%、16%、7%、6%、16%、12%、4%、2%、3%、1%。预混剂为每 1 kg 饲料提供的维生素和微量元素 :V-A 4.5 mg ;V-D₃ 0.75 mg ;V-E 60 mg ;V-K 5 mg ;V-C 100 mg ;V-B₁ 15 mg ;V-B₂ 30 mg ;V-B₁₂ 0.5 mg ;V-B₆ 15 mg ;铁 25 mg ;铜 3 mg ;镁 0.7 g ;碘 0.6 mg ;锰 15 mg ;肌醇 1 000 mg ;烟酸 175 mg ;泛酸钙 50 mg ;叶酸 5 mg ;生物素 2.5 mg。

各组试验饲料(干物质)的营养成分见表 1。

表 1 试验饲料的营养成分含量
Table 1 Nutrient content of trial diets

组别	粗蛋白 含量/%	粗脂肪 含量/%	粗灰分 含量/%	总能 /(kJ·g ⁻¹)
鱼油组	37.76	6.04	10.42	17.18
豆油组	37.67	6.03	10.37	17.38
花生油组	37.83	6.17	10.40	17.44
猪油组	37.16	5.97	10.43	17.32
混合油组	37.62	5.76	10.41	17.21

1.4 饲料脂肪酸含量的测定

参照文献[12]的方法提取各组样品中的脂肪,参照文献[13]对其油脂进行皂化及甲酯化。分别吸取 1 μL 脂肪酸甲酯样品进行气相色谱-质谱分析。气相色谱-质谱仪为 Thermo Quest Trace GC/MS。色谱柱为 30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm SUPELCO GC/MS 毛细管柱。气化室温度与传输线温度分别为 250、280 $^{\circ}\text{C}$ 。程序升温步骤为初温 50 $^{\circ}\text{C}$,按 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$

升高至 280 $^{\circ}\text{C}$,保持 10 min。分流进样,分流比为 10:1;进样量为 1 μL 。质谱条件为 EI 电离源,信增器电压为 1 200 V;离子源温度为 230 $^{\circ}\text{C}$;四极杆温度为 150 $^{\circ}\text{C}$ 。全扫描(SCAN)质量为 45~500 mau 。将样品质谱图与 NIST 标准图库质谱图进行匹配,确认样品中的脂肪酸类别,采用归一化法计算出各组分的相对含量(表 2)。

表 2 试验饲料的脂肪酸组成

Table 2 Fatty acid composition of trial diets

%

组别	饱和脂肪酸含量										合计
	C _{14:0}	C _{15:0}	C _{16:0}	C _{17:0}	C _{18:0}	C _{20:0}	C _{21:0}	C _{22:0}	C _{24:0}	2-己基-环丙烷辛酸	
鱼油组	4.71	0.81	17.4	0.72	3.74	0.44	0.04	0.20	0.13	0.65	28.84
豆油组	0.75	0.06	14.53	0.20	4.43	0.33	0.06	0.33	0.11	0.05	20.85
花生油组	1.02	0.10	15.68	0.16	4.06	1.18	0.03	1.97	0.86	0.16	25.22
猪油组	1.10	0.10	19.88	0.18	5.42	0.37	0.02	0.31	0.15	0.15	27.68
混合油组	1.26	0.13	17.19	0.19	4.56	0.40	0.04	0.37	0.17	0.25	24.56

组别	单不饱和脂肪酸含量							合计
	7-甲基-十六烷-9-烯酸	C _{16:n-7}	C _{18:n-9}	C _{20:n-9}	C _{22:n-9}	C _{24:n-9}		
鱼油组	0.26	6.44	19.80	2.87	3.11	0.46	32.94	
豆油组	tr	1.04	29.65	0.36	0.05	0.03	31.13	
花生油组	0.02	1.47	31.03	0.96	0.21	0.07	33.76	
猪油组	0.01	1.76	30.01	0.68	0.29	0.07	32.82	
混合油组	0.02	1.85	27.56	0.81	0.76	0.09	31.09	

组别	多不饱和脂肪酸含量								合计
	C _{16:3n-3}	C _{17:6n-3}	C _{20:4n-3}	C _{20:5n-3}	C _{22:6n-3}	C _{18:2n-6}	C _{18:3n-6}	C _{20:4n-6}	
鱼油组	0.68	0.1	2.55	8.84	9.25	14.37	0.12	0.55	36.46
豆油组	0.12	tr	0.45	1.82	2.13	42.75	0.05	0.07	47.39
花生油组	0.24	0.02	0.52	2.41	1.62	34.53	0.25	0.10	39.69
猪油组	0.16	0.03	0.51	1.24	1.50	34.16	0.19	0.10	37.89
混合油组	0.26	0.02	0.57	2.63	2.79	36.45	0.22	0.11	43.05

“tr”示痕量。

1.5 测定指标及方法

饲养试验结束后,于每个水族箱中随机取 3 尾鱼制备血液分析样品。将剩余的鱼饥饿 24 h 后取样,测量鱼的体长,称量每尾鱼的体质量、肝胰脏质量与鱼体空壳质量。

先用 MS-222 麻醉鱼体,于尾静脉抽取血液,注入含 1%肝素钠的 2 mL 离心管中,制备成抗凝血,立即送至盐城市疾病预防控制中心检测。使用日立 7170 型自动生化测定仪测定血浆中总蛋白、白蛋白、球

蛋白、胆固醇、甘油三酯、葡萄糖、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白的含量和碱性磷酸酶、谷丙转氨酶、谷草转氨酶的活性,皮质醇、胰高血糖素、胰岛素含量的测定均采用放射免疫测定法,使用西安 FJ-200089 放射免疫计数器和北方生物技术研究所提供的分析测定盒进行测量,具体操作按各试剂盒使用说明书进行。

肝胰脏指数=肝胰脏质量(g)/体质量(g)。

脏器指数=内脏质量(g)/体质量(g)。

肥满度=体质量(g)/体长³(cm³)。

1.6 数据统计与分析

用 SPSS 18.0 进行单因素方差分析；组间差异显著性用 Duncan 氏多重比较法分析。

2 结果与分析

2.1 不同脂肪源对异育银鲫肝体指数、肥满度、脏体指数的影响

由表 3 可以看出，猪油组的肝体指数与脏体指数均最高，肝体指数显著高于鱼油组，脏体指数显

著高于混合油组($P<0.05$)。各试验鱼体肥满度差异不显著($P>0.05$)。

2.2 不同脂肪源对异育银鲫血液生化指标的影响

由表 4 可见，总蛋白和白蛋白含量的变化趋势相似，均为鱼油组最高，猪油组最低，2 组之间的差异显著($P<0.05$)，其余各组之间差异不显著($P>0.05$)。鱼油组甘油三酯含量最低，豆油组其次，这 2 组与混合组之间的差异显著($P<0.05$)。各试验组谷草转氨酶活性和谷丙转氨酶活性的变化趋势相似，猪油组均最高，鱼油组均最低，2 组之间差异显著($P<0.05$)，其余各试验组之间差异不显著($P>0.05$)。鱼油组高密度脂蛋白含量最高，花生油组其次，均与猪油组差异显著($P<0.05$)。各试验组球蛋白、胆固醇、葡萄糖、低密度脂蛋白的含量和碱性磷酸酶活性均差异不显著 ($P>0.05$)。

表 3 不同脂肪源组异育银鲫的形体指标和内脏指数
Table 3 Hepatosomatic index and visceral-somatic index of *Carassius auratus* Gibelio with different lipid sources

组别	肝体指数/%	脏体指数/%	肥满度/%
鱼油组	(4.60±0.37)b	(16.30±2.58)ab	3.18±0.10
豆油组	(5.21±0.77)ab	(16.34±1.64)ab	3.35±0.15
花生油组	(5.15±0.62)ab	(16.61±1.59)ab	3.34±0.19
猪油组	(5.35±0.70)a	(17.84±1.28)a	3.22±0.15
混合油组	(5.13±0.91)ab	(15.80±1.35)b	3.24±0.29

表 4 不同脂肪源组异育银鲫的血清生化指标

Table 4 Serum biochemical indices of *Carassius auratus* Gibelio with different lipid sources

组别	总蛋白含量/ (g·L ⁻¹)	白蛋白含量/ (g·L ⁻¹)	球蛋白含量/ (g·L ⁻¹)	胆固醇含量/ (mmol·L ⁻¹)	甘油三酯含量/ (mmol·L ⁻¹)	葡萄糖含量/ (mmol·L ⁻¹)
鱼油组	(41.58±3.31)a	(24.48±3.08)a	17.10±3.02	7.47±1.18	(5.97±0.71)b	8.23±1.47
豆油组	(40.86±4.90)ab	(23.93±3.40)ab	16.94±2.76	7.05±0.59	(6.20±1.43)b	8.64±1.85
花生油组	(38.23±3.17)ab	(22.80±3.88)ab	17.73±4.48	7.63±0.90	(7.14±1.21)ab	9.21±1.68
猪油组	(37.13±2.49)b	(20.90±1.52)b	15.76±2.29	7.07±0.62	(6.86±1.16)ab	9.89±3.14
混合油组	(39.45±3.99)ab	(22.83±3.56)ab	16.54±2.58	7.41±0.88	(7.70±1.25)a	7.51±2.24

组别	碱性磷酸酶 活性/(U·L ⁻¹)	谷草转氨酶 活性/(U·L ⁻¹)	谷丙转氨酶 活性/(U·L ⁻¹)	低密度脂蛋白 含量/(mmol·L ⁻¹)	高密度脂蛋白 含量/(mmol·L ⁻¹)
鱼油组	23.57±4.16	(355.83±58.29)b	(133.83±20.28)b	3.55±0.08	(1.90±0.25)a
豆油组	23.33±3.27	(381.25±63.55)ab	(135.00±21.63)ab	3.33±0.25	(1.58±0.24)bc
花生油组	26.29±4.15	(413.29±34.74)a	(150.17±11.63)ab	3.43±0.32	(1.81±0.24)ab
猪油组	24.50±3.38	(426.25±29.17)a	(154.38±12.28)a	3.35±0.27	(1.53±0.19)c
混合油组	27.00±6.45	(403.50±55.37)ab	(145.50±16.47)ab	3.32±0.32	(1.70±0.21)abc

2.3 不同脂肪源对异育银鲫血液部分激素水平的影响

由表 5 可见，皮质醇含量为鱼油组最高，豆油组最低，其余依次为混合油组、猪油组和花生油组，各试验组之间的差异不显著($P>0.05$)。胰高血糖素含量由高到低依次为豆油组、鱼油组、花生油组、混合油组和猪油组，各试验组之间差异不显著($P>0.05$)。猪油组和花生油组胰岛素含量最高，鱼油组和豆油组最低，各试验组之间差异不显著($P>0.05$)。

表 5 不同脂肪源组异育银鲫的激素水平

Table 5 Hormone levels in *Carassius auratus* Gibelio with different lipid sources

组别	皮质醇含量/ (ng·mL ⁻¹)	胰高血糖素含量/ (pg·mL ⁻¹)	胰岛素含量/ (μIU·mL ⁻¹)
鱼油组	306.82±128.62	646.57±247.67	2.96±1.41
豆油组	197.47±68.94	806.70±91.94	2.92±0.66
花生油组	216.83±97.02	640.14±286.58	4.34±1.43
猪油组	232.23±57.43	612.79±47.25	4.36±1.23
混合油组	241.51±97.29	632.27±162.28	3.43±0.95

3 结论与讨论

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,饲喂初始体质量为 (6.04 ± 0.05) g的异育银鲫60 d,猪油组的肝体指数与脏体指数均最高,分别显著高于鱼油组和混合油组($P < 0.05$);鱼油组总蛋白(TP)和白蛋白(ALB)含量显著高于猪油组($P < 0.05$);猪油组谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性显著高于鱼油组($P < 0.05$);鱼油组和豆油组甘油三酯含量均显著低于混合油组($P < 0.05$);鱼油组高密度脂蛋白含量最高,花生油组其次,均显著高于猪油组($P < 0.05$);各试验组球蛋白、胆固醇、葡萄糖、低密度脂蛋白、皮质醇、胰高血糖素和胰岛素含量的差异及碱性磷酸酶活性的差异不显著($P > 0.05$)。综合比较本试验条件下5种脂肪源对异育银鲫形体指标和血清生化指标的影响效果,鱼油组的效果最好,豆油、花生油和混合油组的其次,猪油组的最差。

冯健等^[3]发现太平洋鲑玉米油组的肥满度显著高于鱼油组和大豆油组;杜震宇等^[14]发现鱼油、大豆油和玉米油对鲈鱼肥满度的影响不显著;本试验中不同脂肪源对异育银鲫肥满度影响的差异不显著。不同脂肪源对鱼体肥满度的影响不完全相同,可能与脂肪源的种类、添加量、鱼的种类和大小有关。鱼类肝体比过高是脂肪肝的主要症状之一。Bell等^[15]发现菜籽油组大西洋鲑的肝体比显著高于鱼油组,摄食 $n-3$ 系列高度不饱和脂肪酸含量低的饲料,会引起鱼类肝脏中性脂肪含量的改变,使肝脂含量显著上升^[16-17]。本试验中猪油组的肝体指数和脏体指数均最高,其肝体指数与鱼油组差异显著,脏体指数与混合油组差异显著,这可能是因为猪油组的 $n-3$ 高度不饱和脂肪酸含量较低,使肝脏合成磷脂的能力下降,而磷脂参与脂肪代谢,使大量从日粮中吸收的脂肪和由蛋白质转化的脂肪在肝细胞内沉积而无法利用或输送到肝外组织中储存^[18]。

总蛋白由白蛋白和球蛋白组成,硬骨鱼类血清中总蛋白的含量为 $30 \sim 50$ g/L^[12]。本试验所测结果在此范围内。总蛋白在一定程度上代表了日粮中蛋白质的营养水平及动物对蛋白质的消化程度,以及鱼体的健康状况^[19-20]。本试验中,鱼油组和混合油

组的总蛋白和白蛋白的含量最高,显著高于猪油组。甘油三酯升高与鱼类脂肪肝关系密切^[21]。本试验中鱼油组甘油三酯含量最低,这可能是因为鱼油组富含的 $n-3$ 系列脂肪酸阻碍甘油三酯渗入到肝的极低密度脂蛋白颗粒中^[22],导致分泌到血循环中的甘油三酯减少,从而降低血清中甘油三酯的含量。这也说明,与其他脂肪源相比,鱼油可以在一定程度上防止脂肪肝的形成。高密度脂蛋白和低密度脂蛋白含量反映脂类在体内的分解与转运以及肝脏脂肪代谢的状况^[23]。谷草转氨酶和谷丙转氨酶主要分布于肝组织中,组织中谷草转氨酶和谷丙转氨酶等的活性升高程度与肝细胞受损程度相一致^[24]。本试验中,鱼油组谷草转氨酶和谷丙转氨酶的活性均最低,高密度脂蛋白含量最高。猪油组的情况与鱼油组正好相反,这与高露姣等^[6]对施氏鲟的研究结果相似,表明长时间以猪油为脂肪源对鱼体肝组织可能有一定的损伤,而鱼油对鱼体肝组织有一定的保护作用,能降低无氧代谢水平,有利于有氧代谢的正常进行。本试验中猪油组肝体比最高,而鱼油组最低,与高露姣等的结论相一致。

胰岛素是由胰腺 β 细胞分泌的一种促进机体合成代谢的重要激素,能够显著影响生长激素受体的基因组织特异性表达^[25],促进蛋白质合成^[26],胰岛素也是机体内唯一能降低血糖的激素,而胰高血糖素与胰岛素相对抗,起着增加血糖的作用。刘波等^[27]、Panserat等^[28]发现脂肪含量对葡萄糖利用的影响不显著。饲喂含有不同不饱和脂肪酸的油料籽实对中国荷斯坦奶牛血液中血糖和胰岛素含量的影响不显著^[29]。在本试验中日粮脂肪种类对异育银鲫血清中血糖、胰岛素和胰高血糖素含量的影响不显著。

参考文献:

- [1] Sargent J, Bell G, Mcevoy L, et al. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish[J]. Aquaculture, 1999, 177: 191-199.
- [2] 高淳仁, 雷霖霖. 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.
- [3] 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): 256-261.

- [4] 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): 249–255.
- [5] 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.
- [6] 高露姣, 施兆鸿, 艾春香. 不同脂肪源对施氏鲟幼鱼血清生化指标的影响[J]. 海洋渔业, 2005, 27(4): 319–323.
- [7] 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.
- [8] 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(4): 604–614.
- [9] 周玉, 郭文扬, 杨振国, 等. 鱼类血液学指标研究的进展[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(2): 163–165.
- [10] 黄琪琰, 刘丽燕, 范丽萍. 异育银鲫溶血性腹水病的病理生理研究[J]. 水产学报, 1992, 16(4): 316–321.
- [11] 陈寅儿, 金珊, 王国良. 鲈鱼溶藻弧菌病的血液生理生化指标研究[J]. 台湾海峡, 2005, 24(1): 104–108.
- [12] Folch M L, Stanley G H S. Simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. Biol Chem, 1957, 226: 497–509.
- [13] Christie W W. A simple procedure for rapid transmethylation of glycerolipids and cholesteryl esters[J]. Lipid Res, 1982, 23: 1072–1075.
- [14] 杜震宇, 刘永坚, 郑文晖, 等. 三种脂肪源和两种降脂因子对鲈生长、体营养成分组成和血清生化指标的影响[J]. 水产学报, 2002, 26(6): 542–550.
- [15] Bell G, Mcevoy L, Tocher D R, et al. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of *Atlant salmon* (*Salmo salar*) affects tissue lipid composition and hepatocyte fatty acid metabolism [J]. J Nutr, 2001, 131: 1535–1543.
- [16] Thongrod S, Takeuchi T, Soath S, et al. Requirement of fingerling white fish *Coregonus lavaretus* maraena for dietary *n*-3 fatty acids[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1989, 55: 1983–1987.
- [17] Takeuchi T, Toyato M, Satoh S, et al. Requirement of juvenile red seabream *Pagrus major* for eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1990, 56: 1263–1269.
- [18] 冯健, 刘永坚, 刘栋辉, 等. 红姑鱼日粮脂肪水平和脂肪酸比例与脂肪肝病关系研究[J]. 海洋科学, 2004, 28(6): 28–31.
- [19] 尾崎久雄. 鱼类血液与循环生理[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982: 27–182.
- [20] 黄林, 赵海鹏, 金丽, 等. 患肌肉溃烂病中华倒刺鲃血清生化指标变化[J]. 淡水渔业, 2009, 39(5): 67–70.
- [21] 李红霞, 刘文斌, 李向飞, 等. 饲料中添加氯化胆碱、甜菜碱和溶血卵磷脂对异育银鲫生长、脂肪代谢和血液指标的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(2): 292–299.
- [22] 闻芝梅, 陈君石. 现代营养学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1998: 45–53.
- [23] 贺喜, 戴求仲, 张石蕊, 等. 日粮共轭亚油酸对2个品种肉仔鸡生长性能及脂类代谢的影响[J]. 动物营养学报, 2007, 19(5): 581–587.
- [24] Nyblom H, Berggren U, Balldin J, et al. High AST/ALT ratio may indicate advanced alcoholic liver disease rather than heavy drinking[J]. Alcohol, 2004, 39(4): 336–339.
- [25] 马晓, 胡毅, 熊钢, 等. 生长激素受体及其基因研究进展[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2010, 36(1): 58–62.
- [26] 陈立祥, 陈建荣, 谭良溪, 等. 营养水平与半乳甘露寡糖对母猪泌乳量、乳常规成分及乳中激素水平的影响[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2007, 33(1): 57–60.
- [27] 刘波, 唐永凯, 俞菊华, 等. 饲料脂肪对翘嘴红鲌生长、葡萄糖激酶和葡萄糖-6-磷酸酶活性与基因表达的影响[J]. 中国水产科学, 2008, 15(6): 1024–1033.
- [28] Panserat S, Perrin A, Kaushik S. High dietary lipids induce liver glucose-6-phosphatase expression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. J Nutr, 2002, 132: 137–141.
- [29] 刘朝亮, 陈璞, 高莉, 等. 不同油料籽实对奶牛血液生化指标及其脂肪酸的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2009(9): 42–44.

责任编辑: 王赛群