

橡胶籽油替代鱼油对鲤鱼生长、体成分和生化指标的影响*

詹瑰然^{1,2}, 王 坤², 张新党², 张 曦², 李业荣^{3**}, 邓君明^{2**}

(1. 会泽县水产工作站, 云南 会泽 654200; 2. 云南农业大学 动物科学技术学院, 云南 昆明 650201;

3. 云南农业大学 经济管理学院, 云南 昆明 650201)

摘要:【目的】为探讨橡胶籽油替代鱼油对鲤鱼生长、体成分和生化指标的影响。【方法】用橡胶籽油替代0%、25%、50%、75%和100%的鱼油, 配制5种等氮等能饲料进行10周养殖试验。【结果】(1) 0%和25%组末重、体增重和日增重系数差异不显著, 但显著高于其余处理组; 75%和100%组饲料效率和蛋白质效率显著低于其他处理组。(2) 0%组血清总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇水平显著高于50%、75%和100%组($P<0.05$)。各处理组血清甘油三酯和高密度脂蛋白胆固醇水平均无显著性差异($P>0.05$)。(3) 随着替代比例的提高, 肝脏谷丙转氨酶活性呈先上升后下降的趋势, 以25%和50%组活性最高。(4) 100%组血浆超氧化物歧化酶和碱性磷酸酶活性明显低于0%和25%组, 类似地, 100%组血浆过氧化氢酶活性显著低于25%和75%组($P<0.05$)。25%和50%组肝脏总抗氧化酶显著高于100%组($P<0.05$)。75%组肝脏碱性磷酸酶活性显著高于0%、25%和50%组($P<0.05$)。【结论】饲料中橡胶籽油替代25%鱼油对鲤鱼生长性能和饲料利用率等均无不良影响, 但当替代比例超过50%时会影响鲤鱼的生长, 对肝脏健康产生负面影响, 因此鲤鱼饲料中橡胶籽油适宜添加量为1.6%~3.2%。

关键词: 橡胶籽油; 鱼油; 鲤鱼; 饲料利用率; 生长性能

中图分类号: S 963.733

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X (2018) 01-0063-09

Effects of Replacing Fish Oil with Rubber Seed Oil on the Growth, Body Composition and Biochemical Indexes in *Cyprinus carpio*

ZHAN Guiran^{1,2}, WANG Kun², ZHANG Xindang², ZHANG Xi², LI Yerong³, DENG Junming²

(1. Aquatic Workstation of Huize, Huize 654200, China;

2. College of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

3. College of Economics and Management, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: [Purpose] In order to investigate the effects of replacing dietary fish oil with rubber seed oil on growth performance, body composition and biochemical indexes in *Cyprinus carpio*. [Method] Five isoproteic and isolipidic experimental diets were formulated with 0%, 25%, 50%, 75% and 100% rubber seed oil replacing graded levels of fish oil, respectively. The experiment lasted for 10

收稿日期: 2017-02-18

修回日期: 2017-03-16

网络出版时间: 2018-03-03

*基金项目: 国家自然科学基金(31460693); 通威股份有限公司横向项目(TA2016A001); 云南农业大学杰出人才专项(2015JY04)。

作者简介: 詹瑰然(1980—), 女, 重庆长寿人, 本科, 副高级农艺师, 主要从事水产养殖技术推广研究。

E-mail: 525553985@qq.com

**通信作者 Corresponding authors: 李业荣(1965—), 男, 云南昆明人, 硕士, 副教授, 主要从事农业产业经济发展、经济计量分析研究。E-mail: LeeYr1965@163.com; 邓君明(1977—), 男, 江西宁都人, 博士, 教授, 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: djunming@163.com

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201702026](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201702026)

weeks. [**Results**] (1) There was no significant difference in weight gain, weight gain and daily weight gain of 0% and 25% groups ($P>0.05$), but there was significantly higher than that in 50%, 75% and 100% group ($P<0.05$). 75% and 100% group feed efficiency and protein efficiency were significantly lower than other treatment groups ($P<0.05$). (2) The total cholesterol and low density lipoprotein cholesterol of the serum in the 0% group were significantly higher than those in the 50%, 75% and 100% groups ($P<0.05$). There was no significant difference in serum triglyceride and high density lipoprotein cholesterol in different feed treatment groups ($P>0.05$). (3) With the increase of the ratio of rubber seed oil to fish oil in feed, the activity of alanine aminotransferase in liver increased first and then decreased. Among them, 25% and 50% group were significantly higher than other treatment group. (4) 100% group plasma superoxide dismutase and alkaline phosphatase activity was significantly lower than that of 0% and 25% group. Similarly, plasma catalase activity in the 100% group was significantly lower than that in the 25% and 75% groups. The liver total antioxidant capacity of 25% and 50% group was significantly higher than that of 100% group. Liver alkaline phosphatase activity in 75% group was significantly higher than that in 0%, 25% and 50% groups. [**Conclusions**] There were no adverse effects on the growth performance and feed utilization when the replacement level of 25%. However, when the rubber seed oil replacement is more than 50%, it can hinder the growth of *C. carpio*, and endanger the health of the liver. The results also indicate that the suitable adding amount of rubber seed oil in carp feed was 1.6%-3.2%.

Keywords: rubber seed oil; fish oil; *Cyprinus carpio*; feed efficiency; growth performance

脂类具有提供能量、必需脂肪酸 (EFA) 及构成体组织等多种功能, 因而广受重视。鱼油富含二十碳五烯酸 (EPA), 二十二碳六烯酸 (DHA) 和花生四烯酸 (ARA) 等高不饱和脂肪酸 (HUFA), 目前被广泛应用于水产养殖。随着集约化水产养殖模式的迅猛发展, 水产养殖自 20 世纪 80 年代开始以每年 8% 的速度增长, 水产饲料生产对鱼油的需求也不断地增长^[1], 鱼油的供应水平日趋下降, 有限的供应导致鱼油价格大幅升高, 过度的捕捞带来了环境压力, 严重制约了水产养殖业的可持续发展^[2]。因此, 寻找部分或全部替代鱼油的可持续利用的脂肪源成为水产养殖行业研究热点之一。

橡胶籽油是从橡胶籽中榨取的一种天然油脂。橡胶籽是橡胶种植业的副产品之一, 据实地调研和科学测算, 2013 年中国橡胶种植面积约 108 万 hm^2 。按橡胶籽的出油率为 25%~38% 来计算^[3], 中国每年可从橡胶籽中榨取的橡胶籽油约为 50 万 t。但目前中国云南省对橡胶籽的开发利用都不到 30%, 且每年生产的油脂多用于工业油, 开发、在利用和开发的方式上缺乏广度及深度^[4]。橡胶籽油相对于其他的植物油含有更丰富

的不饱和脂肪酸, 其含量高达 74.52%, 其中 α -亚麻酸含量为 20%~24%, 是大豆油、菜籽油的 3~4 倍, 是葵花油、花生油的数十倍^[5]。因此橡胶籽油可以作为替代鱼油的一种重要脂肪源。已有研究表明: 植物油替代鱼油, 在鱼体必需脂肪酸充足的情况下, 部分替代鱼油不会影响鱼体生长, 甚至能提高鱼类的生长效果^[6]。目前对橡胶籽油在水产饲料中的应用研究比较少, 本课题组也已进行了橡胶籽油在饲料中添加对虹鳟、鲟鱼、草鱼上的研究, 但目前还没有橡胶籽油替代鱼油对鲤鱼生长影响的研究。因此, 本试验通过研究不同水平橡胶籽油添加对鲤鱼生长性能、组织生化指标及体组分的影响, 以期橡胶籽油在鲤鱼饲料中应用提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

以鱼粉、豆粕、棉籽粕、菜籽粕和玉米蛋白粉作为饲料蛋白源, 鱼油、橡胶籽油和大豆卵磷脂作为脂肪源, 按照常规饲料配比方案, 配制 5 种等氮等能饲料 (表 1)。R0 组饲料未添加橡胶籽油, 作为对照组; R25~R100 组中橡胶籽油添

加量为 1.6%~6.4%, 以替代 25%~100% 鱼油。

配制饲料前, 所有原料经粉碎机 (SFSP 系列, 昆明华明粮油饲料设备厂生产) 粉碎后过 60 目筛, 按表 1 饲料配方将除了橡胶籽油、鱼油和大豆卵磷脂外的其他原料于塑料薄膜袋手工混合均匀 (逐级放大法, 再加入橡胶籽油、鱼油和

大豆卵磷脂 (先溶于橡胶籽油或鱼油中), 手工搓匀, 最后再加入 30% 左右蒸馏水使粉状饲料形成硬团, 于颗粒饲料机 (KS-180, 江苏晶谷米机有限公司生产) 中将饲料挤压成直径 2.0 mm 的条状, 并在 40 ℃ 鼓风烘箱中干燥 12 h, 冷却后密封于样品袋, 贮存在-20 ℃ 冰箱中备用。

表 1 试验饲料配方和营养水平 (干物质基础)

Tab. 1 Component and nutrient level of experimental diets (dry weight)

饲料成分/% feed composition	日粮 diets				
	R0	R25	R50	R75	R100
鱼粉 fish meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
豆粕 soybean meal	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
棉籽粕 cottonseed meal	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
菜籽粕 rapeseed meal	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
玉米蛋白粉 corn gluten meal	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
麦麸 wheat middling	25.77	25.77	25.77	25.77	25.77
橡胶籽油 rubber seed oil	0.00	1.60	3.20	4.80	6.40
鱼油 fish oil	6.40	4.80	3.20	1.60	0.00
大豆卵磷脂 soy lecithin	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素 C vitamin C	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
氯化胆碱 choline chloride (50%)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
乙氧基喹啉 ethoxyquin (30%)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
矿物质预混料 mineral premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素预混料 vitamin premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
营养水平 nutrient levels					
干物质/% dry matter	89.44	89.71	89.43	90.70	90.92
粗蛋白/% crude protein	38.57	38.93	38.44	38.84	38.94
粗脂肪/% crude lipid	9.75	9.96	9.83	9.91	9.86
粗灰分/% ash	6.70	6.56	6.57	6.59	6.54
粗纤维/% crude fibre	4.86	4.92	4.88	4.85	4.95
无氮浸出物/% NFE	40.12	39.63	40.28	39.81	39.71
总能/(kJ·g ⁻¹) gross energy	19.89	19.98	19.92	19.97	19.95

注: 矿物质预混料 (g/kg): MgSO₄·7H₂O, 180; KI, 1; FeSO₄·H₂O, 260; ZnSO₄·H₂O, 180; CuSO₄·5H₂O, 25; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 180; CoCl₂·6H₂O, 0.75。维生素预混料 (g/kg): 维生素 A, 2; 维生素 D₃, 0.03; 维生素 E, 30; 维生素 K, 3; 盐酸硫胺, 8; 核黄素, 11; 盐酸吡哆醇, 8; 维生素 B₁₂, 0.02; 抗坏血酸, 50; 叶酸, 1; 生物素, 0.1; 烟酸, 30; 泛酸钙, 32; 肌醇, 25。

Note: Mineral premix (g/kg of mixture): MgSO₄·7H₂O, 180; KI, 1; FeSO₄·H₂O, 260; ZnSO₄·H₂O, 180; CuSO₄·5H₂O, 25; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 180; CoCl₂·6H₂O, 0.75。Vitamin premix (g/kg of mixture): retinyl acetate (2 800 000 U/g), 2 g; cholecalciferol, 0.03 g; DL- α -tocopheryl acetate, 30; menadione, 3; thiamine hydrochloride, 8; riboflavin, 11; pyridoxine hydrochloride, 8; vitamin B₁₂, 0.02; ascorbic acid, 50; folic acid, 1; biotin 0.1; niacin, 30; calcium D-pantothenate, 32; inositol, 25。

1.2 试验动物及饲养管理

试验用鲤鱼 (*Cyprinus carpio*) 幼鱼为当年人工培育的同一批苗种, 由云南省渔业科学研究院提供。试验于云南农业大学动物科学技术学院水产养殖学实验室中进行。试验前, 用商业饲料 (粗蛋白 35%, 粗脂肪 6%; 通威股份有限公司提

供) 暂养 2 周以适应养殖环境。每天早晚饲喂 2 次至饱食 (07: 00, 17: 00)。暂养结束后, 鲤鱼禁食 24 h。选取规格均匀[(108.44±0.30) g]、体格健壮的鲤鱼幼鱼, 随机分配于水泥池中的网箱 (0.9 m×0.9 m×1.0 m) 里, 每网箱 25 尾鱼, 共 15 个养殖网箱 (5 个试验处理组, 每组 3 个重

复)。每天早晚投喂 2 次 (07: 00, 17: 00), 达饱食水平。整个养殖试验期间采用循环流水系统 (循环系统中含机械和生物过滤介质及紫外灯消毒装置), 水流速 60 L/min, 且 24 h 连续充氧, 水温始终保持在 18~22 ℃。养殖试验共进行 10 周。

1.3 样品收集

养殖试验结束后, 鲤鱼禁食 24 h, 开始收集试验鱼。分别记录每网箱鲤鱼个数并称重其鱼体总重, 计算每养殖网箱的平均体重和成活率。统计试验鱼的摄食量, 计算各组的摄食率、体增重、蛋白质效率和饲料系数。每网箱收集 5 尾鱼麻醉, 贮存在-20 ℃冰箱中, 用于体成分测定; 每网箱收集 10 尾鱼麻醉, 尾静脉采血, 于 4 ℃冰箱中静置 4 h 后在离心所得血浆血清保存于-80 ℃冰箱待测; 每网箱收集 5 尾鱼麻醉, 解剖, 取出肝脏、中肠样品装于样品袋, 放于-80 ℃冰箱保存待测。

1.4 分析测试方法

鱼体和饲料常规成分分析均采用 AOAC (2000) 方法。其中, 水分的测定为 105 ℃烘干恒重法 (24 h); 粗蛋白的测定为凯氏定氮法 ($N \times 6.25$); 粗脂肪的测定为索氏抽提法; 粗灰分的测定为箱式电阻炉 550 ℃灼烧法 (16 h)。饲料粗纤维的测定为过滤法 (ISO 6865—2000), 无氮浸出物 [$100 - (\text{粗蛋白} + \text{粗脂肪} + \text{粗纤维} + \text{灰分})$] 和总能 ($39.5 \text{ kJ/g} \times \text{粗脂肪} + 23.7 \text{ kJ/g} \times \text{粗蛋白} + 17.2 \text{ kJ/g} \times \text{无氮浸出物}$) 通过计算所得。

血浆、肝脏和中肠中蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定, 血清中总胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TAG) 和高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 水平采用试剂盒 (上海捷门生物科技有限公司提供) 测定, 低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 采用 Friedewald 公式计算得到; 血浆中的谷草转氨酶 (GOT)、谷丙转氨酶 (GPT) 超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、总抗氧化能力 (T-AOC)、碱性磷酸酶 (AKP)、乳酸脱氢酶 (LDH) 等指标活性及钙、磷、总氨基酸、尿素氮、氨氮和丙二醛 (MDA) 含量均采用试剂盒 (南京建成生物工程研究所提供) 测定; 肝脏 GOT、GPT 及其余消化酶活性也采用试剂盒 (南京建成生物工程研究所提供) 测定。

1.5 计算与统计分析

平均代谢体重 (MBW) =

$$\frac{[\text{初重}(\text{g})/1000]^{0.75} + [\text{末重}(\text{g})/1000]^{0.75}}{2}$$

摄食率 (g/kg MBW/d) =

$$\frac{\text{总摄食率}}{\text{平均代谢体重/饲喂天数}}$$

$$\text{体增重} = \frac{\text{末重} - \text{初重}}{\text{初重}} \times 100$$

$$\text{日增重系数}(\%/\text{末重}) = \frac{\text{末重}^{1/3} - \text{初重}^{1/3}}{\text{饲喂天数}} \times 100;$$

$$\text{饲料效率} = \frac{\text{鱼体湿增重}(\text{g})}{\text{采食干饲料重}(\text{g})} \times 100\%;$$

$$\text{蛋白质效率} = \frac{\text{鱼体湿增重}(\text{g})}{\text{采食蛋白重}(\text{g})} \times 100\%。$$

数据均表示为平均值±标准误。所有百分率数据分析前均先经 Arcsine 转换。先采用单因素方差分析 (ANOVA), 当显著性差异 ($P < 0.05$) 时, 再用 Tukey's 检验进行多重比较分析。所有统计分析均采用 SPSS 16.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 生长性能

养殖试验期间, 各饲料处理组鲤鱼成活率为 93.1%~94.4%, 不同饲料处理组间成活率无显著性差异 (表 2)。类似地, 不同饲料处理组鲤鱼摄食率无显著性差异。随着饲料中橡胶籽油替代鱼油比例的提高, 鲤鱼末重、体增重、日增重系数、饲料效率和蛋白质效率均呈逐渐下降的趋势; 其中, R0 和 R25 组鲤鱼末重、体增重和日增重系数差异不显著, 但显著高于 R50、R75 和 R100 组; R0、R25 和 R50 组饲料效率和蛋白质效率差异不显著, 但显著高于 R75 和 R100。由此可见: 橡胶籽油替代鲤鱼饲料中 25% 鱼油对鲤鱼生长性能无不良影响, 替代 50% 鱼油对饲料利用率无不良影响; 但替代比例超过 50% 显著降低了鲤鱼生长性能和饲料利用率。

2.2 鱼体常规组成

不同饲料处理组鲤鱼鱼体水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量均无显著性差异 (表 3)。由此可见: 鲤鱼饲料中橡胶籽油完全替代鱼油对鲤鱼体

组成无不良影响。

2.3 消化酶活性

随着饲料中橡胶籽油替代鱼油比例的提高, 鲤鱼肝脏淀粉酶活性呈逐渐上升的趋势; 其中, R0 组肝脏淀粉酶活性显著低于 R75 和 R100 组 (表 4)。不同饲料处理组鲤鱼肠道淀粉酶活性和肝脏脂肪酶活性均无显著性差异。由此可见: 橡胶籽油替代鲤鱼饲料中 50% 鱼油对鲤鱼消化酶活性无明显影响, 且当替代比例超过 75% 后显著提高了肝脏淀粉酶活性。

2.4 血脂水平

随着饲料中橡胶籽油替代鱼油比例的提高, 鲤鱼血清总胆固醇和 LDL-C 水平呈逐渐下降的趋势; 其中, R0 组血清总胆固醇和 LDL-C 水平显著高于 R50、R75 和 R100 组 (表 5)。不同饲料处理组鲤鱼血清甘油三酯和 HDL-C 水平及 LDL-C/HDL-C 比例均无显著性差异。由此可见: 橡胶籽油替代鲤鱼饲料中 25% 鱼油对鲤鱼胆固醇代谢无明显影响, 当替代比例超过 50% 后具有明显的降血液胆固醇效应。

表 2 橡胶籽油替代鱼油对鲤鱼生长性能的影响

Tab. 2 Effects of fish oil replacement by rubber seed oil on growth performance of *C. carpio*

项目 item	R0	R25	R50	R75	R100
末重/g final weight	212.42±2.67 a	205.71±1.34 a	187.63±1.36 b	186.30±1.40 b	182.52±3.15 b
体增重 WG	0.96±0.03 a	0.90±0.01 a	0.73±0.02 b	0.72±0.02 b	0.68±0.03 b
日增重系数/(%·d ⁻¹) DGC	2.14±0.05 a	2.03±0.02 a	1.71±0.03 b	1.68±0.03 b	1.62±0.06 b
摄食率 FI (g/kg MBW/d)	10.67±0.13	10.41±0.28	9.87±0.45	10.36±0.12	10.05±0.23
饲料效率 FER	0.69±0.01 a	0.68±0.03 a	0.61±0.03 ab	0.56±0.01 b	0.56±0.01 b
蛋白质效率/% PER	1.80±0.02 a	1.74±0.07 a	1.58±0.09 ab	1.44±0.02 b	1.45±0.02 b
存活率/% survival	93.1±1.4	94.4±2.8	94.4±2.8	94.4±1.4	93.1±1.4

注: 同行数据肩注不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$); 下同。

Note: Values in the same row with different small letter superscripts mean significant differences ($P<0.05$); the same as below.

表 3 橡胶油替代鱼油对鲤鱼体组成的影响

Tab. 3 Effects of fish oil replacement by rubber seed oil on body composition of *C. carpio*

w%

项目 item	R0	R25	R50	R75	R100
水分 moisture	75.28±0.57	76.18±0.14	75.70±0.33	75.77±0.30	75.83±0.61
粗蛋白 crude protein	15.91±0.33	15.79±0.26	15.16±0.17	15.80±0.36	14.96±0.13
粗脂肪 crude lipid	5.07±0.18	4.56±0.34	5.06±0.46	5.29±0.25	5.21±0.78
灰分 ash	3.10±0.19	3.07±0.21	3.36±0.03	3.01±0.16	3.22±0.15

表 4 橡胶籽油替代鱼油对鲤鱼消化酶活性的影响

Tab. 4 Effects of fish oil replacement by rubber seed oil on digestive enzyme activities of *C. carpio*

项目 item	R0	R25	R50	R75	R100
肠淀粉/(U·mg ⁻¹) intestinal amylase	0.34±0.02	0.27±0.05	0.34±0.01	0.37±0.06	0.36±0.04
肝酯酶/(U·g ⁻¹) hepatic lipase	48.89±4.33	46.30±5.02	56.41±6.65	59.76±8.44	46.79±8.07
肝脏淀粉酶/(U·mg ⁻¹) hepatic amylase	0.26±0.02 c	0.32±0.03 bc	0.31±0.02 bc	0.39±0.04 ab	0.45±0.02 a

表 5 橡胶籽油替代鱼油对鲤鱼血脂水平的影响

Tab. 5 Effects of fish oil replacement by rubber seed oil on blood lipid level activities of *C. carpio*

Item	R0	R25	R50	R75	R100
总胆固醇/(mmol·L ⁻¹) total cholesterol	7.96±0.19 a	7.29±0.10 ab	6.60±0.28 b	6.11±0.44 b	6.30±0.14 b
甘油三酸酯/(mmol·L ⁻¹) triglyceride	1.76±0.26	2.41±0.53	1.68±0.15	1.77±0.31	2.37±0.05
高密度脂蛋白-胆固醇 (HDL-C)/(mmol·L ⁻¹)	3.41±0.22	3.00±0.20	3.32±0.18	3.09±0.07	2.88±0.45
低密度脂蛋白-胆固醇 (LDL-C)/(mmol·L ⁻¹)	4.21±0.19 a	3.80±0.21 ab	2.95±0.46 b	2.66±0.40 b	2.95±0.30 b
LDL-C/HDL-C	1.25±0.12	1.29±0.15	0.91±0.20	0.86±0.12	1.07±0.27

2.5 蛋白质代谢指标

R0 和 R25 组鲤鱼血浆尿素氮含量明显低于 R50、R75 和 R100 组 (表 6)。类似地, 随着饲料中橡胶籽油替代鱼油比例的提高, 鲤鱼肝脏谷丙转氨酶活性呈先上升后下降的趋势; 其中, R25 和 R50 组肝脏谷丙转氨酶活性显著高于其他处理组。不同饲料处理组鲤鱼血浆谷草转氨酶、谷丙转氨酶及肝脏谷草转氨酶活性、血浆总氨基酸、氨氮、钙和磷水平均无显著性差异。由此可见: 橡胶籽油替代鲤鱼饲料中 25% 鱼油对鲤鱼蛋白质代谢无明显影响, 当替代比例超过 50% 后明显促进了蛋白质分解代谢。

2.6 抗氧化能力

随着饲料中橡胶籽油比例的提高, 鲤鱼血浆超氧化物歧化酶和碱性磷酸酶活性均呈逐渐下降的趋势; 其中, R100 组血浆超氧化物歧化酶和碱性磷酸酶活性明显低于 R0 和 R25 组 (表 7)。R100 组血浆过氧化氢酶活性显著低于 R25 和 R75 组。随着饲料中橡胶籽油比例的提高, 鲤鱼肝脏总抗氧化力呈先上升后下降的趋势; 其中, R25 和 R50 组肝脏总抗氧化力显著高于 R100 组。R75 组肝脏碱性磷酸酶活性显著高于 R0、R25 和 R50 组。由此可见: 橡胶籽油替代鲤鱼饲料中 75% 鱼油对鲤鱼抗氧化能力无明显影响, 当替代比例超过 75% 后鲤鱼抗氧化能力有所下降。

表 6 橡胶籽油替代鱼油对鲤鱼血浆和肝脏蛋白质代谢的影响

Tab. 6 Effects of fish oil replacement by rubber seed oil on protein metabolism in plasma and liver of *C. carpio*

项目 item	R0	R25	R50	R75	R100
血浆 plasma					
谷草转氨酶/(U·mL ⁻¹) GOT	1.21±0.09	1.25±0.10	1.30±0.03	1.44±0.06	1.35±0.08
谷丙转氨酶/(U·mL ⁻¹) GPT	2.25±0.38	3.13±0.45	2.51±0.21	3.09±0.21	3.70±0.15
总氨基酸/(mmol·L ⁻¹) total amino acid	56.25±5.11	50.00±1.14	52.85±1.71	56.82±2.27	49.43±8.52
尿素氮/(mmol·L ⁻¹) urea-N	3.48±0.37 b	3.26±0.71 b	6.67±0.26 a	6.89±0.59 a	4.56±0.56 ab
氨氮/(mmol·dL ⁻¹) ammonia-N	22.59±2.73	17.13±1.62	23.33±1.74	30.28±4.28	23.09±3.23
P/(mmol·L ⁻¹)	3.80±0.26	3.31±0.14	3.65±0.63	3.87±0.32	4.14±0.12
Ca/(mmol·L ⁻¹)	2.42±0.09	2.24±0.08	2.14±0.08	2.45±0.07	2.18±0.21
肝脏 liver					
GOT/(U·mg ⁻¹)	0.19±0.01	0.19±0.01	0.21±0.03	0.20±0.01	0.26±0.03
GPT/(U·mg ⁻¹)	5.02±0.67 b	13.82±1.88 a	13.12±0.99 a	4.12±0.69 b	3.41±0.14 b

表 7 橡胶籽油替代鱼油对鲤鱼血浆和肝脏抗氧化能力的影响

Tab. 7 Effects of fish oil replacement by rubber seed oil on antioxidant capacity in plasma and liver of *C. carpio*

项目 item	R0	R25	R50	R75	R100
血浆 plasma					
超氧化物歧化酶/(U·dL ⁻¹) SOD	0.10±0.03 ab	0.12±0.01 a	0.11±0.02 ab	0.07±0.01 ab	0.03±0.00 b
碱性磷酸酶/(U·dL ⁻¹) AKP	5.23±0.17 a	4.32±0.17 ab	4.88±0.24 a	4.64±0.19 a	3.63±0.21 b
乳酸脱氢酶/(U·mL ⁻¹) LDH	2.60±0.46	2.65±0.30	4.01±0.39	5.18±0.60	3.12±0.79
过氧化物酶/(U·mL ⁻¹) POD	6.97±0.91	7.59±0.14	5.97±0.80	8.13±0.56	6.91±0.73
谷胱甘肽过氧化物酶/(U·μL ⁻¹) GSH-Px	0.70±0.05	0.74±0.10	0.75±0.10	0.76±0.07	0.58±0.01
谷胱甘肽过氧化物酶/(U·mL ⁻¹) T-AOC	9.08±0.46	10.94±1.72	14.21±2.29	15.28±2.04	7.79±1.19
过氧化氢酶/(U·mL ⁻¹) CAT	58.60±9.53 ab	93.50±5.90 a	65.38±8.47 ab	86.95±8.25 a	23.37±5.08 b
丙二醛/(nmol·mL ⁻¹) MDA	6.39±1.12	6.48±0.80	6.20±0.50	6.85±1.03	8.06±0.83
肝脏 liver					
GSH-Px/(U·g ⁻¹)	0.19±0.01	0.19±0.03	0.19±0.03	0.18±0.01	0.23±0.01
T-AOC/(U·g ⁻¹)	1.72±0.19 ab	2.77±0.58 a	2.91±0.69 a	1.81±0.11 ab	0.69±0.10 b
AKP/(U·g ⁻¹)	3.29±0.42 b	3.49±0.31 b	3.42±0.48 b	6.89±0.89 a	4.68±0.53 ab
POD/(U·g ⁻¹)	4.91±0.20	7.02±0.85	5.56±0.28	4.94±0.80	5.16±0.67

3 讨论

3.1 橡胶籽油替代鱼油对鲤鱼生长和鱼体组成的影响

目前大多数的研究结果表明:在以较高水平的鱼粉作为蛋白源的基础上,部分鱼类(淡水鱼类和鲑鱼类)能够通过 C_{18} PUFA 满足机体对必需脂肪酸的需求,而在这些鱼类饲料中植物油可以大部分或 100% 替代鱼油,且对其生长性能和或饲料系数不造成显著影响^[7-9]。本研究结果表明:橡胶籽油可部分替代鱼油而不影响鲤鱼的生长,但随着替代比例的提高则会抑制鲤鱼的生长性能。潘瑜等^[10]研究发现:当鱼油被亚麻籽油替代比例达到 50% 以上时,会抑制鲤鱼的生长,这与本试验的研究结果相似。同时,FRANCIS 等^[11]在墨瑞鲑上也有类似的研究结果。本试验中,橡胶籽油高比例替代鱼油时会抑制鲤鱼生长的原因可能是由于鱼油减少时,饲料中 PUFA 的含量不能够充分满足鱼体正常生长的需求。而 PETTERSSON 等^[12]研究结果表明:虹鳟饲料中,用菜籽油替代 75% 的鱼油时其生长与对照组(鱼粉用量 21.8%, 鱼油用量为 21.8%)无显著性差异;BELL 等^[13]在大西洋鲑上的研究发现:用菜籽油全部替代饲料中(基础饲料中鱼粉用量为 60%, 鱼油用量为 19.0%)的鱼油也不会对其生长和饲料效率造成显著影响。出现这种差异可能与鱼的种类及规格、植物油源、饲料中鱼粉含量、饲养周期等有关。本研究还发现:随着橡胶籽油替代鱼油水平的升高,饲料效率和蛋白质效率均呈下降趋势,这可能与饲料中脂肪酸组成发生改变有关,特别是 n-3PUFA 含量的降低会影响鱼类消化道对营养素的消化、吸收和利用,导致饲料效率和蛋白质效率下降。

本研究结果表明:不同比例橡胶籽油替代鱼油对各处理组之间鲤鱼体组成差异不显著。与饲料中添加亚麻籽油不会影响大菱鲈幼鱼^[14]、鳟鱼^[15]、大比目鱼^[16]的体组成的研究结果一致。在大黄鱼饲料中用菜籽油部分或完全替代鱼油也得到类似地结果^[17]。王炳谦等^[18]用豆油替代鱼油对哲罗鱼(*Hucho taimen*)的体成分的影响也不显著。潘瑜等^[10]发现亚麻籽油替代鱼油均会显著降低鲤鱼全鱼粗蛋白质含量,而粗脂肪含量反之。另有研究表明:饲料中菜籽油含量过高时显著影响青鱼的鱼体水分含量^[19]。结果的差异可能与养殖鱼类和鱼油替代源不同相关。

3.2 橡胶籽油替代鱼油对鲤鱼消化酶活性

消化酶在生物体内能够对各种化学变化起催化作用,是机体维持正常代谢的重要生命活性物质。在鱼类中,消化酶活性的提高不仅可以促进其对各种营养物质的消化吸收,而且对促进鱼类的生长具有重要作用。有研究表明:鱼的消化酶活性能够适应其饲料性质,也就是说饲料性质能够影响鱼的消化酶活性^[20]。淀粉酶是反应鱼类对食物中淀粉消化能力的一种重要酶,肝胰脏是其生成的中心器官,并且在肠道中被进一步激活,它分泌机能的强弱直接影响鱼类对淀粉的消化能力的高低^[21-22]。本试验结果显示:随着橡胶籽油替代鱼油比例的提高,鲤鱼肝脏淀粉酶活性呈逐渐上升的趋势,且当替代比例超过 75% 后显著提高了其活性。这可能是由于随着饲料中橡胶籽油比例的提高,改变了饲料中的脂肪酸含量,因此降低了鲤鱼对蛋白质和脂肪的吸收,提高了其对碳水化合物的利用,从而使肝脏中淀粉酶的活性升高。

3.3 橡胶籽油替代鱼油对鲤鱼血脂水平及蛋白质代谢的影响

机体的健康能够通过动物的血液指标准确反应,而血液指标又极易受到饲料中脂肪含量的影响^[23],液体中的脂肪是以脂蛋白作为运输载体,最后以 LDL-C 和 HDL-C 等形式存在于肝脏及血液中。若改变饲料中的脂肪种类及含量,或其在运输过程中受到阻碍,将会使鱼体对脂质代谢的负担加重。研究表明:饲料中添加植物油可以降低动物血清中的 LDL、VLDL^[24];亚麻籽油中含有丰富的 n-3PUFA,它可以使人体^[25]、老鼠^[26]和蛋鸡^[27]血清中 TC、LDL-C 的含量降低;其原因可能是 n-3PUFA 使 VLDL 得装配速度降低了^[28],从而造成了 VLDL 含量的减少,然而机体内的 LDL 来源于 VLDL,因此 VLDL 含量的减少间接的造成了 LDL 含量的降低。在本试验中也发现有类似的降血脂效应,橡胶籽油替代达到 50% 后,显著降低了 TC、LDL-C 的含量。引起 TC 含量降低的原因一方面可能是植物油本身含有极少量的胆固醇,随着植物油替代鱼油比例的升高,鱼体摄入的胆固醇也极少;另一方面可能是由于肝功能障碍或消化脂肪的胆汁没有正常分泌造成的。LDL-C 含量的降低可能是随着橡胶籽油替代比例的提高,改变了饲料中脂肪酸的组成,从而影响的脂质的吸收及转运。同时,有研

究表明:当棕榈油替代基础饲料中 80% 的鱼油时可使半滑舌鳎血清中的 HDL-C 含量显著升高^[8];而当棕榈油 100% 替代鱼油时,并没有对大西洋鲑血浆中 TC、TG、LDL-C、HDL-C 和 VLDL-C 的含量造成显著性影响^[29]。本试验结果显示:不同饲料处理组鲤鱼血清甘油三酯和 HDL-C 水平及 LDL-C/HDL-C 比例均无显著性差异。出现这种差异,可能与试验鱼、替代鱼油的脂肪源不同有关。

尿素氮作为一种鱼类蛋白质代谢的衡量指标,是鱼体含氮物质代谢的主要产物之一。血清中尿素氮含量较低时表明机体的氨基酸平衡较好、蛋白质合成率较高^[30]。本试验结果显示:当饲料中橡胶籽油的替代比例超过 50% 后显著提高了尿素氮含量,这说明高比例的橡胶籽油能够促进鲤鱼机体蛋白质的分解代谢,降低蛋白质的沉积。GOT 和 GPT 存在的主要场所是肝脏细胞中,当机体肝脏功能受损时,这两种酶的活性将大幅度上升,因此其活性常作为衡量机体肝脏是否健康的重要指标。本试验结果显示:R25 和 R50 组肝脏谷丙转氨酶活性显著高于 R75 和 R100 组,说明一定替代比例会对鲤鱼肝功能造成一定的影响。不同饲料处理组鲤鱼血浆 GOT、GPT 及肝脏 GOT 活性、血浆总氨基酸、氨氮、Ca 和 P 水平均无显著性差异,说明饲料中添加橡胶籽油对鲤鱼的蛋白质利用效率并没有显著的负面影响。

3.4 橡胶籽油替代鱼油对鲤鱼肝脏抗氧化能力的影响

鱼体在代谢过程中会产生很多有害物质,而 SOD 和 CAT 能清除这些有害物质,且其活性大小又能反映动物机体清除自由基能力的强弱。因此,SOD 和 CAT 在机体的免疫功能和抗氧化过程中具有重要的作用^[31];血液 AKP 主要反映了动物机体的抗病能力。橡胶籽油高比例替代鱼油显著降低了鲤鱼血浆 SOD、CAT 和 AKP 的活性,说明饲料中橡胶籽油高比例替代会导致鲤鱼抗氧化及抗病力下降。赵磊等^[32]研究发现:在成体雄蟹饲料中用混合植物油替代 25% 鱼油时,其 SOD 活力显著升高;但当替代比例达到 50%~75% 时,血清中 SOD 活力显著降低,这与本试验结果一致。动物机体抗氧化能力在一定程度上能通过 TAC 来衡量,其活性大小在一定程度上反映了机体抗氧化能力的强弱^[32]。本试验

中,随着饲料中橡胶籽油替代鱼油比例的提高,鲤鱼肝脏 T-AOC 呈先上升后下降的趋势,其中 R100 组肝脏 T-AOC 显著低于 R25 组和 R50 组,说明鲤鱼饲料中橡胶籽油全部替代鱼油显著降低了鲤鱼的抗氧化能力,影响其机体的免疫能力。潘瑜等^[10]在鲤鱼饲料中用亚麻籽油提点鱼油,随着其替代比例的升高,TAC 活性显著降低。这也与本试验结果类似。出现以上结果的原因可能是因为植物油中 HUFA 特有的生理作用使机体抗氧化系统组成因子活力升高。AKP 作为一种非特异性磷酸水解酶,在机体的免疫防御中起到非常重要的作用,它的主要功能是促进磷酸基团的转移反应以及磷酸单酯的水解^[33]。本研究中,R75 组肝脏 AKP 性显著高于 R0、R25 和 R50 组,说明适当的橡胶籽油替代鱼油可显著提高鲤鱼的 AKP 活性,进而提高了鲤鱼的免疫性能。综上所述,橡胶籽油替代鲤鱼饲料中 75% 鱼油对鲤鱼抗氧化能力无明显影响,但当替代比例超过 75% 后鲤鱼抗氧化能力有所下降。

4 结论

鲤鱼饲料中橡胶籽油替代 25% 鱼油对鲤鱼生长性能、饲料利用率、抗氧化能力、蛋白质代谢和脂质代谢指标等均无不良影响;但完全替代显著降低了鲤鱼生长性能、饲料利用率、蛋白质代谢和抗氧化能力。由此可知,橡胶籽油可部分作为鲤鱼饲料的能量来源,鲤鱼饲料中橡胶籽油适宜添加量为 1.6%~3.2%。

[参考文献]

- [1] JANA P, TURID M. Alternate oils in fish feeds[J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 2007, 109(3): 256. DOI: [10.1002/ejlt.200600222](https://doi.org/10.1002/ejlt.200600222).
- [2] REFSTIE S, STOREBAKKEN T, BAEVERFJORD G, et al. Long-term protein and lipid growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level[J]. Aquaculture, 2001, 193: 91. DOI: [10.1016/S.0044-8486\(00\)004737](https://doi.org/10.1016/S.0044-8486(00)004737).
- [3] 陈茜文. 橡胶籽的化学成分与综合利用初探[J]. 中南林业学院学报, 1999, 19(4): 58. DOI: [10.3969/j.issn.1673-923X.1999.04.014](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-923X.1999.04.014).
- [4] 李国华, 何美莹, 白旭华, 等. 重视富含亚麻酸的橡胶种子油的开发利用[J]. 热带农业科技, 2005, 28(4): 27. DOI: [10.3969/j.issn.1672-450X.2005.04.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-450X.2005.04.007).
- [5] NARAHARI D, KOTHANDARAMAN P. Chemical composition and nutritional value of para-rubber seed and its products for chickens[J]. Animal Feed Science Technology, 1984, 10: 257. DOI: [10.1016/0377-8401\(84](https://doi.org/10.1016/0377-8401(84)

- 90021-X.
- [6] 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. DOI: [10.3724/SP.J.1035.2011.00988](https://doi.org/10.3724/SP.J.1035.2011.00988).
- [7] TURCHINI G M, TORSTENSEN B E, WING-KEONG N. Fish oil replacement in finfish nutrition[J]. Reviews in Aquaculture, 2010, 1(1): 10. DOI: [10.1111/j.1753-5131.2008.01001.x](https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2008.01001.x).
- [8] 程民杰. 棕榈油替代鱼油对半滑舌鳎生长、生理生化及肌肉营养品质影响的研究[D]. 天津: 天津农学院, 2014.
- [9] 彭祥和, 任为, 李斌斌, 等. 不同水平亚麻籽油替代鱼油对罗非鱼生长及体组成的影响[J]. 饲料工业, 2014, 35(8): 30. DOI: [10.13302/j.cnki.fi.2014.08.008](https://doi.org/10.13302/j.cnki.fi.2014.08.008).
- [10] 潘瑜, 陈文燕, 林仕梅, 等. 亚麻油替代鱼油对鲤鱼生长性能、肝胰脏脂质代谢及抗氧化能力的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(2): 420. DOI: [10.3969/j.issn.1006-267x.2014.02.018](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-267x.2014.02.018).
- [11] PENG S, CHEN L, QIN J G, et al. Effects of replacement of dietary fish oil by soybean oil on growth performance and liver biochemical composition in juvenile black seabream, *Acanthopagrus schlegelii*[J]. Aquaculture, 2008, 276(1/2/3/4): 154. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2008.01.035](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.01.035).
- [12] PETTERSSON A, JOHNSON L, BRANNAS E, et al. Effects of rapeseed oil replacement in fish feed on lipid composition and self-selection by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Aquaculture Nutrition, 2009, 15(6): 577. DOI: [10.1111/j.1365-2095.2008.00625.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2008.00625.x).
- [13] 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(5): 1535.
- [14] 彭墨, 徐玮, 麦康森, 等. 亚麻籽油替代鱼油对大菱鲆幼鱼生长、脂肪酸组成及脂肪沉积的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(8): 1027. DOI: [10.3969/j.issn.1006-267x.2015.03.013](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-267x.2015.03.013).
- [15] HILLE S. A Literature review of the blood chemistry of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Rich[J]. Journal of Fish Biology, 2006, 20(5): 535. DOI: [10.1111/j.1095-8649.1982.tb03954.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1982.tb03954.x).
- [16] TRENZADO C, HIDALGO M C, GARCIALGALLEGO M. Antioxidant enzymes and lipid peroxidation in sturgeon *Acipenser naccarii* and trout *Oncorhynchus mykiss*. A comparative study[J]. Aquaculture, 2006, 254(1/4): 758. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2005.11.020](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.11.020).
- [17] 易新文, 张文兵, 麦康森, 等. 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼生长、肌肉脂肪酸组成和体色的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(5): 751. DOI: [10.3724/SP.J.1231.2013.38430](https://doi.org/10.3724/SP.J.1231.2013.38430).
- [18] 王炳谦, 徐奇友, 徐连伟, 等. 豆油代替鱼油对哲罗鱼稚鱼生长和体成分的影响[J]. 中国水产科学, 2006, 13(6): 1024.
- [19] SUN S M, YE J Q, CHEN J, et al. Effect of dietary fish oil replacement by rapeseed oil on the growth, fatty acid composition and serum non-specific immunity response of fingerling black carp, *Mylopharyngodon piceus*[J]. Aquaculture Nutrition, 2011, 17(4): 441. DOI: [10.1111/j.1365-2095.2010.00822.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00822.x).
- [20] 朱卫. 饲料脂肪水平对点篮子鱼生长性能、营养成分及消化酶活性的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
- [21] 叶元土. 温度、pH 值对南方大口鲶、长吻鲢蛋白酶和淀粉酶活力的影响[J]. 大连水产学院学报, 1998, 13(2): 17. DOI: [10.16535/j.cnki.dlhyxb.1998.02.003](https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.1998.02.003).
- [22] 倪寿文, 桂远明, 刘焕亮. 草鱼、鲤、鲢、鳙和尼罗罗非鱼肝胰脏和肠道蛋白酶活性的初步探讨[J]. 动物学报, 1993, 39(2): 160.
- [23] BOND C E. Circulation, respiration, and the gas bladder [M]//BOND C E. Biology of fishes. London: W.B Saunders Company Press, 1979: 347.
- [24] JORDAL A, LIE O, TORSTENSEN B E. Complete replacement of dietary fish oil with a vegetable oil blend affect liver lipid and plasma lipoprotein levels in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. Aquaculture Nutrition, 2007, 13(2): 114. DOI: [10.1111/j.1365-2095.2007.00455.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00455.x).
- [25] CUNNANE S C, GANGULI S, MENARD C, et al. High alpha-linolenic acid flaxseed (*Linum usitatissimum*): some nutritional properties in humans[J]. The British Journal of Nutrition, 1993, 69(2): 443.
- [26] VIJAIMOHAN K, JAINU M, SABITHA K E, et al. Beneficial effects of alpha linolenic acid rich flaxseed oil on growth performance and hepatic cholesterol metabolism in high fat diet fed rats[J]. Life Sciences, 2006, 79(5): 448. DOI: [10.1016/j.lfs.2006.01.025](https://doi.org/10.1016/j.lfs.2006.01.025).
- [27] 夏中生, 陈继新, 谢梅冬, 等. 饲粮油脂对蛋鸡生产性能、血清脂质含量和蛋黄脂肪酸组成的影响[J]. 广西农业生物科学, 2003, 22(3): 171.
- [28] BROWN A M, BAKER P W, GIBBONS G F. Changes in fatty acid metabolism in rat hepatocytes in response to dietary n-3 fatty acids are associated with changes in the intracellular metabolism and secretion of apolipoprotein B-48[J]. Journal of Lipid Research, 1997, 38(3): 469.
- [29] TORSTENSEN B E, LIE O, FRØYLAND L. Lipid metabolism and tissue composition in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): effects of capelin oil, palm oil, and oleic acid-enriched sunflower oil as dietary lipid sources[J]. Lipids, 2000, 35(6): 653.
- [30] 叶元土. 水产动物的营养与饲料研究评价指标体系[J]. 饲料广角, 2004(20): 19. DOI: [10.3969/j.issn.1002-8358.2004.20.014](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-8358.2004.20.014).
- [31] 田文静. 饲料中添加硒和镁对中华鳖蟹幼蟹生长、抗氧化性能的影响[D]. 上海: 华东师范大学, 2014.
- [32] 赵磊, 龙晓文, 吴旭干, 等. 育肥饲料中混合植物油替代鱼油对中华绒螯蟹成体雄性腺发育、脂质代谢、抗氧化及免疫性能的影响[J]. 动物营养学报, 2016, 28(2): 455. DOI: [10.3969/j.issn.1006-267x.2016.02.000](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-267x.2016.02.000).
- [33] XUE Q, RENAULT T. Enzymatic activities in European flat oyster, *Ostrea edulis*, and pacific oyster, *Crassostrea gigas*, hemolymph[J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2000, 76(3): 155. DOI: [10.1006/jipa.2000.4965](https://doi.org/10.1006/jipa.2000.4965).

责任编辑: \$article_editor