

配合饲料和鲢鱼肉对大鲵生长的比较试验

张皓迪 王双 李虹 冯麒凤 陈小川 黎学练 雷登华 罗莉

COMPARATIVE EXPERIMENT ON FORMULATED DIET AND SILVER CARP MEAT FOR GROWTH OF THE GIANT SALAMANDER (*ANDRIAS DAVIDIANUS*)

ZHANG Hao-Di, WANG Shuang, LI Hong, FENG Qi-Feng, CHEN Xiao-Chuan, LI Xue-Lian, LEI Deng-Hua, LUO Li

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2021.2019.143>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

西江鲤仔稚鱼生长及消化酶活性变化

THE GROWTH AND DIGESTIVE ENZYMES ACTIVITIES OF COMMON CARP (*CYPRINUS CARPIO*) DURING LARVAL STAGE

水生生物学报. 2019, 43(2): 362–366 <https://doi.org/10.7541/2019.045>

不同碳氮比对生物絮团形成及对日本沼虾生长、抗氧化酶和消化酶的影响

EFFECTS OF BIOFLOCS ON GROWTH, DIGESTIVE ENZYMES AND ANTIOXIDANT ENZYMES OF *MACROBRACHIUM NIOONENSE*

水生生物学报. 2020, 44(6): 1239–1246 <https://doi.org/10.7541/2020.144>

大鲵短型肽聚糖识别蛋白PGRP-S的克隆及其功能研究

CLONING AND FUNCTIONAL STUDY OF PGRP-S IN CHINESE GIANT SALAMANDER *ANDRIAS DAVIDIANUS*

水生生物学报. 2018, 42(3): 473–479 <https://doi.org/10.7541/2018.059>

饲料中添加磷虾水解物对大菱鲆幼鱼生长性能、体组成及相关酶活性的影响

EFFECTS OF DIETARY KRILL HYDROLYSATES ON GROWTH PERFORMANCE, BODY COMPOSITION AND RELATED ENZYME ACTIVITIES OF JUVENILE TURBOT (*SCOPHTHALMUS MAXIMUS* L.)

水生生物学报. 2017, 41(3): 497–505 <https://doi.org/10.7541/2017.64>

饲料碳水化合物水平对拟穴青蟹稚蟹生长、体成分和消化酶活性的影响

EFFECTS OF DIETARY CARBOHYDRATE LEVEL ON GROWTH PERFORMANCE, BODY COMPOSITION AND DIGESTIVE ENZYME ACTIVITIES OF JUVENILE CRAB, *SCYLLA PARAMAMOSAIN*

水生生物学报. 2019, 43(2): 252–258 <https://doi.org/10.7541/2019.031>

亚东鲑幼鱼饲料蛋白和脂肪适宜水平的研究

A STUDY ON THE PROPER PROTEIN AND LIPID LEVELS IN THE DIET OF *SALMO TRUTTA* JUVENILES

水生生物学报. 2020, 44(3): 470–478 <https://doi.org/10.7541/2020.057>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2021.2019.143

配合饲料和鲢鱼肉对大鲵生长的比较试验

张皓迪¹ 王双¹ 李虹² 冯麒凤¹ 陈小川¹ 黎学练² 雷登华³ 罗莉¹

(1. 西南大学水产学院, 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 重庆 400715; 2. 重庆市水产技术推广总站, 重庆 400000; 3. 重庆市开州区水产技术推广站, 重庆 405400)

摘要: 为探讨人工配合饲料和鲢鱼肉对大鲵生长、消化和抗氧化能力的影响, 试验选取初始体重为(20.99±0.15) g的大鲵幼体48尾, 随机分成2组, 每组3个重复, 每个重复8尾, 分别投喂人工配合饲料(粗蛋白55.67%, 粗脂肪6.83%)和鲢鱼肉(粗蛋白18.03%, 粗脂肪4.11%)共92d。结果显示: (1)饲料组大鲵的增重率(WGR)、特定生长率(SGR)、蛋白质沉积率(PRR)和肌肉蛋白质合成能力均显著高于鱼肉组, 饲料系数(FCR)和存活率(SR)在两个试验组之间无显著差异($P>0.05$)。 (2)在大鲵摄食人工配合饲料后, 全鲵粗蛋白、皮肤胶原蛋白及粗灰分含量均显著高于鱼肉组($P<0.05$), 而全鲵水分、粗脂肪与肌肉的粗脂肪和粗灰分含量显著低于鱼肉组($P<0.05$)。 (3)饲喂鲢鱼肉的大鲵胃蛋白酶活性显著高于饲料组($P<0.05$), 而两个试验组的胃 H^+-K^+ -ATP酶和肠道消化酶活性均无显著差异($P>0.05$)。 (4)饲喂人工配合饲料的大鲵肝脏总抗氧化能力(T-AOC)和超氧化物歧化酶(SOD)活性显著高于鱼肉组($P<0.05$), 而肝脏丙二醛(MDA)含量低于鱼肉组($P<0.05$), 两个试验组的肠道抗氧化指标差异不显著($P>0.05$)。研究表明, 在实验条件下, 大鲵可主动摄食人工配合饲料, 而且相比于投喂新鲜鲢鱼肉, 人工配合饲料饲喂大鲵, 在提高生长性能、促进大鲵合成皮肤胶原蛋白和肝脏抗氧化能力等方面更具优势, 说明人工配合饲料可以替代新鲜饵料成为大鲵的主要饵料。

关键词: 大鲵; 配合饲料; 鲢鱼肉; 生长; 消化酶; 抗氧化

中图分类号: S965.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2021)01-0146-07



大鲵(*Andrias davidianus*)俗称“娃娃鱼”, 隶属两栖纲(Amphibia)、有尾目(Urodela)、隐鳃鲵科(Cryptobranchidae)、大鲵属(*Andrias*)^[1]。大鲵肉质鲜美、营养丰富, 具有极高的食用和药用价值。在大鲵的人工育种和养殖技术已经成熟的背景下^[2], 其主要饲喂方式依然是鲜活饵料(鱼块、小型水生昆虫、鲜活小杂鱼虾、小型贝类等)^[3-5], 鲜活饵料经济成本较高、易携带病菌, 运输储存困难, 饲喂步骤复杂^[6, 7]。此外, 目前市场上没有大鲵配合饲料流通, 其饲料研发也处于滞后状态。基于此, 本课题组结合大鲵饵料的诱食性、口径等要求, 评定了大鲵相关营养需求参数, 通过设计大鲵蛋白质需求对比试验, 得出了大鲵人工配合饲料的最适蛋白质干基含量(55.7%)^[8], 并配制出相应的大鲵人工配

合饲料。本试验则通过比较人工配合饲料和鲢鱼肉对大鲵生长、常规营养成分、消化和抗氧化能力的差异影响, 以期为大鲵人工配合饲料的开发应用提供理论依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

实验用鲜活饵料为鲢, 购自重庆北碚天生农贸市场, 用绞肉机粉碎后投喂。人工配合饲料以鱼粉、肉粉、血球蛋白粉、酪蛋白和明胶为蛋白源, 大豆油为脂肪源设计而成, 试验饲料配方及基本营养组成见表1, 饲料原料均过40目筛, 混合机混匀, 挤压制成直径2.0 mm左右的饲料, 风干分装, -20℃保存备用, 每次投喂前30min取出解冻。

收稿日期: 2019-06-19; 修订日期: 2020-03-21

基金项目: 重庆市社会民生科技创新专项(cstc2016shmszx80084); 重庆市生态渔产业技术体系项目(2016-2021); 重庆市开州区科技计划项目(2019)资助 [Supported by the Special Project for Scientific and Technological Innovation of Social and Livelihood in Chongqing (cstc2016shmszx80084); Chongqing Ecological Fishery Technology System (2016-2021); Chongqing Kaizhou District Science and Technology Plan Project (2019)]

作者简介: 张皓迪(1995—), 男, 硕士研究生; 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: zhd199541@163.com

通信作者: 罗莉, 副教授, 硕士生导师; 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: luoli1972@163.com

表 1 试验饲料配方及主要营养物质(风干基础)

Tab. 1 Diet feed formula and major nutrients (air-dry basis, %)

项目Item	鱼肉组Fish group	饲料组Feed group
原料Ingredient		
鱼粉Fish meal		33.50
肉粉Meat meal		3.00
酪蛋白Casein		6.00
明胶Gelatin		6.00
复合蛋白粉Compound protein		17.00
面粉Wheat flour		11.55
α -预糊化淀粉 α -Pregelatinized starch		11.00
豆油Soybean oil		2.80
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$		2.00
氯化胆碱 Choline chloride		0.40
预混料 ¹ Premix ¹		6.75
鲢鱼肉 ² Silver carp meat ²	100.00	
合计Total	100.00	100.00
营养组成(实测)Nutrition composition (measured value)		
水分Moisture	76.75	11.37
粗蛋白Crude protein	18.03	49.37(55.70) ³
粗脂肪Crude lipid	4.11	6.83
粗灰分Crude ash	1.05	10.02

注: 1. 预混料为每千克全价日粮提供: 铁100.0 mg; 铜5.0 mg; 锌 80.0 mg; 锰40.0 mg; 碘2.0 mg; 硒0.6 mg; 钴2.0 mg; 维生素A 3000.0 IU; 维生素D 2000.0 IU; 维生素E 100.0 mg; 维生素K3 5.0 mg; 维生素B1 10.0 mg; 维生素B2 12.0 mg; 烟酸100.0 mg; 维生素B6 15.0 mg; 泛酸钙50.0 mg; 叶酸6.0 mg; 维生素B12 0.03 mg; 生物素1.0 mg; 维生素C 100.0 mg; 2. 鲢鱼肉是鲢鱼的鱼肉部分, 不含鱼骨、鳞片和内脏团; 3. 风干样蛋白

Note: 1. Premix provided per kg of diet: Fe 100.0 mg; Cu 5.0 mg; Zn 80.0 mg; Mn 40.0 mg; I 2.0 mg; Se 0.6 mg; Co 2.0 mg; vitamin A 3000.0 IU; vitamin D 2000.0 IU; vitamin E 100.0 mg; vitamin K3 5.0 mg; vitamin B1 10.0 mg; vitamin B2 12.0 mg; niacin 100.0 mg; vitamin B6 15.0 mg; calcium pantothenate 50.0 mg; folic acid 6.0 mg; vitamin B12 0.03 mg; biotin 1.0 mg; vitamin C 100.0 mg; 2. Silver carp meat is the meat part of fish, excluding the bones, scales and internal organs of silver carp; 3. Air-dried protein

1.2 饲养管理

试验用大鲢为陕西省汉中市绿源大鲢养殖场的子二代人工繁殖个体。在正式试验前, 先将大鲢经浓度1%的食盐溶液消毒后, 在室内的养鱼池驯化两周。随机选择体格健壮、规格一致(20.99±0.15)g的大鲢, 分成2组, 每组设3个重复, 每个重复8尾。试验大鲢饲养于西南大学动物科技学院国家示范中心循环水养殖系统中的塑料方形箱内(规格为: 70 cm×45 cm×17.5 cm, 水深5 cm), 水源为曝气自来水。每天17:00投喂1次, 2h后去除剩余饲料, 每隔2周对试验大鲢进行称重一次, 然后根据试验大鲢的增重情况调整投喂量, 正式试验时间92d。

因大鲢消化食物时间较长, 故连续投喂3d后停食2d。每天早晚换水一次。饲养期间无光照, 水温22—25℃, 溶解氧>6.0 mg/L, 氨氮含量<0.10 mg/L, 亚硝酸盐含量<0.10 mg/L, pH在6.5—7.5。

1.3 样品采集

饲养实验结束, 大鲢停食3d后对每个重复的重量和尾数进行记录, 用于生长数据的统计; 每个重复随机选取3尾大鲢用0.01% Ms-222麻醉, 测量体长、体高和体质量; 然后在冰盘中解剖, 剥离肠道和肝脏, 滤纸沥干并称重, 取背部组织分离出肌肉和皮肤, 将所有分离出的组织迅速转入液氮速冻, 随后分别置于-80℃冰箱中保存。

在指标测定前, 参照谢中国等^[9]的方法剪取保存备用的肝脏和肠部并匀浆。按1:9(g/mL)加入生理盐水, 迅速转入高速分散器匀浆(匀浆过程在冰水浴中进行), 后将匀浆液离心(4℃, 4000 r/min, 10min), 取上清液, -80℃保存备用。

1.4 指标测定

生长及形体指标测定: 养殖实验结束后, 停食3d, 准确称量各组大鲢体质量和饲料重, 计算其生长指标, 计算公式如下:

增重率(Weight growth rate, WGR, %)=($W_t - W_0$)/ $W_0 \times 100$;

特定生长率(Specific growth rate, SGR, %/d)= $100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$

尾均摄食量(Feed intake, FI, g/尾)= W_f / N

饲料系数(Feed conversion rate, FCR)= $W_f / (W_t - W_0)$;

蛋白质沉积率(Protein retention ratio, PRR, %)= $100 \times (W_t \times \text{BP}_2 - W_0 \times \text{BP}_1) / (F \times P)$;

成活率(Survival rate, SR, %)= $N_t / N_0 \times 100$

式中, W_t 为终末均重(g); W_0 为起始均重(g); t 为养殖试验天数; W_f 为总摄食饲料的干重(g); N 为鱼尾数; BP_1 、 BP_2 分别为试验鱼初始体粗蛋白质含量和终末体粗蛋白质含量(%); F 为饲料摄入量(g); P 为饲料粗蛋白质含量(%); N_0 为初始尾数(尾); N_t 为终末尾数(尾)。

常规营养成分测定: 试验大鲢饲料、全鲢和肌肉的常规营养成分采用AOAC (1995)^[10]方法检测。其中粗蛋白质采用蛋白质测定仪(GB/T 6432-1994)检测, 粗脂肪采用索氏抽提仪(GB/T 6433-1994)测定, 水分采用105℃恒温烘干法(GB/T 6435-2006)测定, 粗灰分采用马弗炉(GB/T 6438-1992)550℃灼烧法测定。

肌肉蛋白质合成能力和皮肤胶原蛋白的测定: 采用王桂芹等^[11]的方法测定取样肌肉中DNA、

RNA含量,并计算RNA/DNA。胶原蛋白含量通过检测羟脯氨酸含量(GB/T 9695.23-2008)再乘以系数11.0计算而得。

组织生化指标的测定:胃蛋白酶和 H^+-K^+-ATP 酶,肠道胰蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性,总抗氧化能力(T-AOC)、超氧化物歧化酶(SOD)和丙二醛(MDA)均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒及其使用方法测定。

1.5 数据处理与分析

试验数据均采用统计软件SPSS 22.0分析。经过单因素方差分析(One-way ANOVA)之后,采用Duncan's多重比较, $P<0.05$ 表示差异显著。除成活率外,数据均以平均值 $\pm$ 标准差(Mean $\pm$ SD)表示。

2 结果

2.1 大鲵生长性能与饲料效率

人工配合饲料和鲢鱼肉会显著影响大鲵的生长性能(表2)。饲料组的大鲵WGR、SGR和PRR显著高于鱼肉组($P<0.05$),而两个试验组的FCR无显著差异($P>0.05$)。各实验组大鲵成活率均为100%。

2.2 大鲵常规营养成分

饲喂人工配合饲料的大鲵的全鲵粗灰分、皮肤胶原蛋白显著高于鱼肉组($P<0.05$),而全鲵粗脂肪、肌肉水分和肌肉粗蛋白显著低于鱼肉组($P<0.05$),两个试验组的全鲵水分和粗蛋白、肌肉粗脂肪则无显著差异($P>0.05$,表3)。

2.3 大鲵消化酶活性

投喂鲢鱼肉的大鲵胃蛋白酶显著高于饲料组,而两个试验组的大鲵胃 H^+-K^+-ATP 酶活性和肠道的胰蛋白酶活性、脂肪酶活性和淀粉酶活性都无显

表2 大鲵饲喂配合饲料和鲢鱼肉的生长和饲料利用率

Tab. 2 Growth and feed utilization of giant salamander fed with formula feed and silver carp meat

项目Item	鱼肉组Fish group	饲料组Feed group
初始尾均重IBW (g)	21.13 $\pm$ 0.20	20.83 $\pm$ 0.38
终末尾均重FBW (g)	45.95 $\pm$ 4.02	54.03 $\pm$ 3.07
增重率WGR (%)	103.97 $\pm$ 5.95 ^a	159.62 $\pm$ 8.61 ^b
特定增长率SGR (%/d)	0.86 $\pm$ 0.06 ^a	1.06 $\pm$ 0.05 ^b
摄食量FI (尾, 干基)	11.25 $\pm$ 0.58 ^a	16.93 $\pm$ 0.59 ^b
饲料系数FCR (干基)	0.46 $\pm$ 0.06	0.51 $\pm$ 0.03
蛋白质沉积率PRR (%)	53.65 $\pm$ 2.88 ^a	75.31 $\pm$ 2.38 ^b
存活率SR (%)	100	100

注:表格中同行肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著($P>0.05$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);下同

Note: Values in the same row with no superscripts or sharing the same letter of superscripts indicate no significant differences ($P>0.05$); values with different letters of superscripts are significantly different ($P<0.05$). The same applies below

著差异($P>0.05$,表4)。

2.4 大鲵肌肉蛋白质合成能力

饲料组的大鲵肌肉中RNA、DNA和RNA/DNA比值显著高于鱼肉组的大鲵($P<0.05$,图1和图2)。

2.5 大鲵肝脏和肠道抗氧化能力

饲料组的大鲵肝脏T-AOC和SOD活性显著高

表3 大鲵饲喂配合饲料和鲢鱼肉的全鲵和肌肉组成

Tab. 3 Whole body and muscle composition of giant salamander fed with formula feed and silver carp meat (%)

项目Item	鱼肉组Fish group	饲料组Feed group
全鲵Whole-body		
水分Moisture	82.51 $\pm$ 0.54	81.2 $\pm$ 0.91
粗蛋白*Crude protein	72.72 $\pm$ 0.32	73.84 $\pm$ 1.75
粗脂肪*Crude lipid	18.56 $\pm$ 0.23 ^b	17.52 $\pm$ 0.26 ^a
粗灰分*Ash	8.49 $\pm$ 0.15 ^a	10.66 $\pm$ 0.43 ^b
肌肉Muscle		
水分Moisture	84.36 $\pm$ 0.35 ^b	83.4 $\pm$ 0.18 ^a
粗蛋白*Crude protein	89.98 $\pm$ 0.55 ^b	85.63 $\pm$ 0.61 ^a
粗脂肪*Crude lipid	5.83 $\pm$ 0.48	5.93 $\pm$ 1.04
皮肤Skin		
胶原蛋白Collagen	5.31 $\pm$ 0.17 ^a	6.43 $\pm$ 0.15 ^b

注:*.干物质基础

Note: *. The content in dry matter

表4 大鲵饲喂配合饲料和鲢鱼肉的胃肠道消化酶活性

Tab. 4 Gastrointestinal digestive enzymes activity of giant salamander fed with formula feed and silver carp meat

项目Item	鱼肉组Fish group	饲料组Feed group
胃Stomach		
胃蛋白酶Pepsin (U/mg prot)	47.08 $\pm$ 1.30 ^b	41.13 $\pm$ 2.23 ^a
H^+-K^+-ATP 酶 H^+-K^+-ATP ase (U/mg prot)	7.66 $\pm$ 0.58	7.47 $\pm$ 0.11
肠道Intestine		
胰蛋白酶Protease (U/mg prot)	516.77 $\pm$ 49.59	491.68 $\pm$ 5.06
脂肪酶Lipase (U/g prot)	186.08 $\pm$ 49.02	200.66 $\pm$ 16.54
淀粉酶Amylase (U/mg prot)	0.17 $\pm$ 0.00	0.17 $\pm$ 0.01

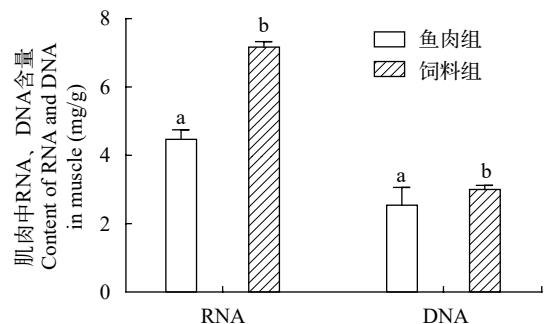


图1 大鲵饲喂配合饲料和鲢鱼肉的肌肉中RNA、DNA含量

Fig. 1 Muscle RNA and DNA levels of giant salamander fed with formula feed and silver carp meat

于鱼肉组($P<0.05$); 饲料组的大鲵肝脏MDA含量则显著低于鱼肉组($P<0.05$); 而2个试验组大鲵的肠道T-AOC、SOD活性和MDA含量无显著差异($P>0.05$, 表5)。

3 讨论

3.1 配合饲料和鲢鱼肉对大鲵生长性能与饲料效率的比较

研究发现, 野生大鲵主要以动物性饵料为食, 幼鲵时期喜食小型无脊椎动物, 如水蚯蚓(*Sludge worms*)、水蚤(*Water fleas*)、水生昆虫幼虫等; 成鲵阶段则以小鱼、小虾及贝类等为食^[7]。然而长期以来, 人工养殖大鲵均没有相应的配合饲料, 加上大鲵视觉退化, 惧光、声, 捕食方式为“守株待兔”, 在生产上其饲喂饵料通常是鲜活和冰鲜鱼肉。为解决这种困境, 本课题组在尝试多种肉食性鱼类配合饲料投喂大鲵开口失败的基础上, 使用4种昆虫饵料黑水虻(*Hermetia illucens*)、蝇蛆(*Fly maggots*)、家蚕(*Bombyx moris*)和黄粉虫(*Tenebrio molitor*s))进行饲喂试验, 发现大鲵尤其喜食黄粉虫。于是我们在按照大鲵营养需求配制的人工配

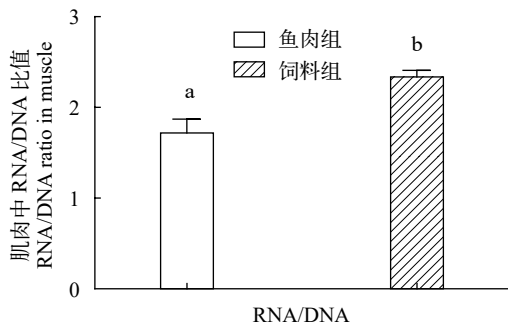


图2 大鲵饲喂配合饲料和鲢鱼肉的肌肉中RNA/DNA比值

Fig. 2 Muscle RNA/DNA ratio of giant salamander fed with formula feed and silver carp meat

表5 大鲵饲喂配合饲料和鲢鱼肉的抗氧化能力

Tab. 5 Antioxidant capacity of giant salamander fed with formula feed and silver carp meat

项目 Item	鱼肉组 Fish group	饲料组 Feed group
肝脏 Liver		
总抗氧化能力 T-AOC (U/mg)	2.43±0.01 ^a	2.57±0.02 ^b
丙二醛 MDA (nmol/mg prot)	2.67±0.26 ^b	1.12±0.06 ^a
超氧化物歧化酶 SOD (U/mL)	21.29±4.27 ^a	38.79±0.71 ^b
肠道 Intestine		
总抗氧化能力 T-AOC (U/mg)	2.11±0.01	2.0±0.01
丙二醛 MDA (nmol/mg prot)	5.21±0.47	5.03±1.61
超氧化物歧化酶 SOD (U/mL)	91.94±3.94	91.99±1.19

合饲料中加入适量黄粉虫及其他诱食性氨基酸组成复合蛋白粉诱导大鲵摄食。在本试验中投喂饲料的大鲵WGR、SGR和PER显著高于投喂鲢鱼肉的大鲵, 且饲料组增重率较鱼肉组提高了53.5%, 说明人工配合饲料符合大鲵幼体快速生长的营养需求, 可大幅度提升大鲵的蛋白质沉积。该结果与大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)^[12]、大菱鲈(*Scophthalmus maximus*)^[13]、鳊(*Siniperca chuatsi* ♀×*Siniperca scherzeri* ♂)^[14]等养殖肉食性鱼类的研究结果存在差异。这可能与鱼的不同种类有关, 分析其他原因还有: (1)相比鲢鱼肉, 人工配合饲料颗粒小、水分含量低、大鲵幼体需要摄入更多干物质基础的人工配合饲料才有饱感; (2)摄食人工配合饲料的大鲵幼体抗氧化能力较好, 进而体质好, 摄食量更高。此外, 两个实验组的FCR无显著差异, 且FCR低于一般养殖鱼类(表2), 这可能与大鲵喜静不喜动, 活动水平低, 摄食饵料中大部分能量用于生长消耗相关, 也说明人工配合饲料可以达到鲜活鲢鱼肉相同的饵料转化水平。

3.2 配合饲料和鲢鱼肉对大鲵营养组成的比较

养殖鱼类的品质与其饲料的营养组成有着密切的关系, 高蛋白质低脂肪含量鱼类的肉质和营养价值更高^[15, 16]。在本试验中投喂饲料的大鲵全鲵粗脂肪显著低于投喂鲢鱼肉的大鲵, 这可能是因为饲料中含有多种矿物质元素, 有利于大鲵生长过程中的脂肪消耗, 达到降脂的效果。此外, 饲料组的全鲵粗灰分显著高于鱼肉组, 说明摄食人工配合饲料的大鲵含有较多的矿物质及微量元素等营养物质。本实验还发现, 鱼肉组的大鲵肌肉中的水分和粗蛋白含量显著高于饲料组, 而粗脂肪含量无显著差异, 与稀有逗鲫(*Gobiocypris rarus*)^[17]、褐牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)^[18]研究结果相似。该结果产生的原因可能是一方面鲢鱼肉水分含量高, 促进大鲵摄取较多的水分, 另一方面鲜活饵料可能直接为大鲵提供有助于消化饵料中脂肪和蛋白的未知酶及肠道有益微生物^[19]。综合来看, 人工配合饲料能有效改善大鲵的肉体品质。

人工养殖大鲵皮中的胶原蛋白占鲵皮干质量的60.66%, 这些胶原蛋白可能具有一些陆生动物胶原蛋白没有的特殊功能^[20]。而且研究表明大鲵皮中的活性胶原蛋白COLLAGEN具有嫩白容颜、祛皱等美容功效^[21]。本实验发现, 饲料组的大鲵皮肤胶原蛋白含量高于鱼肉组, 可能是因为饲料蛋白水平高且富含大量作为胶原蛋白水解产物的明胶, 提供较多的脯氨酸和赖氨酸。此外, 人工配合饲料营养组成完全, 含有许多与维生素C类似的辅助因子,

促进机体羟基化反应,使脯氨酸和赖氨酸转化为构成胶原蛋白的羟脯氨酸和羟赖氨酸,从而促进大鲵皮肤胶原蛋白的生成^[22]。

3.3 配合饲料和鲢鱼肉对大鲵消化能力的比较

有胃鱼对食物的消化过程分为胃部的蛋白质变性和胃蛋白酶作用,之后肠道内胰蛋白酶等为酶原激活并进行消化,包括对蛋白质、肽、糖、脂肪等的消化与吸收,整个过程主要依靠胃肠道消化酶催化作用进行化学性消化,而消化酶活性会受鱼类食性和食物组成成分的影响^[23]。本实验发现,饲料的蛋白水平高于鲢鱼肉(表1),但鱼肉组的大鲵胃蛋白酶显著高于饲料组。分析这可能与大鲵摄食人工配合饲料和鱼肉在胃部的消化行为存在差异性有关,包括鲜活饵料可以通过自溶或作为酶原来激活鱼体内源性消化酶,或者通过含有肠道神经肽或营养“生长”因子促进鱼类消化,而人工配合饲料缺乏这类物质并含有少量抗营养因子,在一定程度上影响胃蛋白酶的分泌^[24, 25]。本实验还发现,投喂饲料和鲢鱼肉的大鲵的肠道消化酶活性无显著差异,说明饲喂人工配合饲料和鲢鱼肉的大鲵肠道分解蛋白质、脂肪和碳水化合物的酶活性相当,反映了人工配合饲料对类似鲢鱼肉鲜活饵料的可替代性。此外,2个试验组的淀粉酶活性都较一般养殖鱼类低,这可能与大鲵作为肉食性两栖动物,消化道较短,对淀粉等碳水化合物的利用能力较弱有关。

3.4 配合饲料和鲢鱼肉对大鲵蛋白质合成能力的比较

鱼类生长的实质是体内蛋白质的合成,表现上是鱼体积和体重的增加,内在表现是组织体积的增加、细胞数量的增多以及物质和能量的积累。相关研究表明,肌肉中DNA含量反映细胞的有丝分裂速率,RNA含量反映蛋白质合成速率,而RNA/DNA比值则与细胞效率,即单个细胞合成蛋白质的速率成正相关,其在水产动物中作为短期内反映机体代谢活动的生长指标^[26, 27]。Buckley^[28]对大西洋鳕的研究中发现肌肉RNA/DNA比值与饵料营养水平和生长速率有高度的正相关关系。本实验结果显示饲料组的大鲵DNA、RNA、RNA/DNA比值显著高于鱼肉组,说明人工配合饲料可以加快肌肉细胞分裂速率,提高肌肉蛋白质合成能力,明显提升大鲵生长性能。

3.5 配合饲料和鲢鱼肉对大鲵抗氧化能力的比较

由于正常的细胞功能,鱼体内会不断产生自由基和活性氧,而T-AOC体现了酶系统和非酶系统对抗这些自由基的抗氧化防御能力,SOD作为其中主要的抗氧化酶之一,可以将超氧自由基分解为分子

氧和过氧化氢。MDA是脂质过氧化反应的主要代谢产物,其含量高低可以反映机体细胞受到自由基攻击的严重程度^[29]。在本实验中,2种饵料对大鲵肝脏抗氧化效果有显著差异,对肠道的抗氧化效果差异不显著,这可能是由于肝脏是鱼体的主要抗氧化场所,具体原因还有待进一步探究。本实验还发现饲料组的SOD和T-AOC活性显著高于鱼肉组,而MDA含量则相反,说明投喂人工配合饲料的大鲵肝脏抗氧化酶活性升高,机体清除自由基的能力增强,投喂鲢鱼肉的大鲵可能因为鲢鱼肉中脂肪氧化腐败或肝脏脂肪代谢发生障碍,使大鲵肝脏抗氧化酶活性降低,MDA含量增加。

4 结论

综上所述,在本实验条件下,大鲵可主动摄食人工配合饲料,而且从大鲵的生长性能、常规营养成分、消化酶活性和抗氧化能力等方面综合考虑,人工配合饲料可以替代新鲜饵料成为大鲵的主要饵料。

参考文献:

- [1] Mou H M, Li Y, Yao J J, *et al.* A review: current research on biology of Chinese giant salamander [J]. *Fisheries Science*, 2011, **30**(8): 513-516. [牟洪民, 李媛, 姚俊杰, 等. 大鲵生物学研究的新进展 [J]. *水产科学*, 2011, **30**(8): 513-516.]
- [2] Yang A S, Liu G J. Preliminary study on artificial reproduction of *Euphorbia* [J]. *Freshwater Fisheries*, 1979(2): 1-5. [阳爱生, 刘国钧. 大鲵人工繁殖的初步研究 [J]. *淡水渔业*, 1979(2): 1-5.]
- [3] Li C, Yin M G, Xu X X, *et al.* Effect of stocking density and food types on survival, growth and development of juvenile giant salamander *Andrias davidianus* [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2013, **26**(1): 23-26. [李灿, 殷梦光, 徐小茜, 等. 放养密度和饵料种类对中国大鲵幼苗存活与生长的影响 [J]. *水产学杂志*, 2013, **26**(1): 23-26.]
- [4] Chen B X, Wang F G, Zeng Q M, *et al.* Comparative experiment on feeding large cockroaches with different bait species [J]. *Aquaculture*, 1992(4): 10-11. [陈碧霞, 王福刚, 曾庆民, 等. 不同饵料种类喂养大鲵的比较试验 [J]. *水产养殖*, 1992(4): 10-11.]
- [5] Yang Y Q, Xiao H B, Liu J Y. Preliminary study on seedling cultivation of *Eucalyptus grandis* [J]. *Freshwater Fisheries*, 1996(3): 27-28. [杨焱清, 肖汉兵, 刘鉴毅. 大鲵幼苗培育初探 [J]. *淡水渔业*, 1996(3): 27-28.]
- [6] Sun H C, Li L F, Ding S H, *et al.* Effects of two diets on the growth of Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) [J]. *Journal of Chongqing University of Arts and Sciences (Natural Science Edition)*, 2012, **31**(6): 53-55. [孙翰昌, 李龙非, 丁诗华, 等. 两种饵料对中国大鲵生长性能的影响 [J]. *重庆文理学院学报(自然科学版)*, 2012,

- 31(6): 53-55.]
- [7] Li W L, Luo L, Li H, *et al.* Advance on the artificial breeding technologies of Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) [J]. *Chinese Fisheries Quality and Standards*, 2018, **8**(5): 20-26. [李伟龙, 罗莉, 李虹, 等. 中国大鲵人工养殖技术研究进展 [J]. 中国渔业质量与标准, 2018, **8**(5): 20-26.]
- [8] Wang S, Li Z F, Li H, *et al.* Dietary protein requirement of juvenile Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, **44**(1): 1-12. [王双, 李战福, 李虹, 等. 大鲵幼体蛋白质的需求量 [J]. 水产学报, 2010, **44**(1): 1-12.]
- [9] Xie Z G, Wang F R, Luo Y S, *et al.* Effects of different wall materials of the microencapsulated diets on the growth and digestive enzyme activity of *Nibeia albiflora* larvae [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, **39**(1): 52-57. [谢中国, 王芙蓉, 罗玉双, 等. 不同壁材微胶囊饲料对黄姑鱼稚鱼生长和消化酶活力的影响 [J]. 水生生物学报, 2015, **39**(1): 52-57.]
- [10] Cunniff P. Official methods of analysis of AOAC international [J]. *AOAC Official Method*, 1995, **6**(11): 382.
- [11] Wang G Q, Li Z P, Niu X T, *et al.* Effects of feed energy and vitamin B₆ on growth and protein synthesis and regulation of black mulberry [J]. *China Feed*, 2011(16): 36-40. [王桂芹, 李子平, 牛小天, 等. 饲料能量和维生素 B₆对乌鳢生长和蛋白质合成与调控的影响 [J]. 中国饲料, 2011(16): 36-40.]
- [12] Mou M M, Jiang Y, Luo Q, *et al.* Effects of formulated diet and fresh frozen *Hypophthalmichthys molitrix* on growth, plasma biochemical index and antioxidant ability and histology of *Micropterus salmoides* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, **42**(9): 82-90. [牟明明, 蒋余, 罗强, 等. 配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈生长、血浆生化指标、抗氧化能力和组织学的影响 [J]. 水产学报, 2018, **42**(9): 82-90.]
- [13] Niu H X, Lei J L, Chang J, *et al.* Effects of fresh frozen trash fish and commercial feeds on growth, lipid metabolism and antioxidant function of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, **25**(11): 2696-2704. [牛化欣, 雷霖霖, 常杰, 等. 冰鲜野杂鱼和商品饲料对大菱鲆生长、脂质代谢及抗氧化功能的影响 [J]. 动物营养学报, 2013, **25**(11): 2696-2704.]
- [14] Yan L, Li J, Lu J, *et al.* Effects of live and artificial feeds on the growth, digestion, immunity and intestinal microflora of mandarin fish hybrid (*Siniperca chuatsi* ♀×*Siniperca scherzeri* ♂) [J]. *Aquaculture Research*, 2017, **48**(8): 4479-4485.
- [15] Haard N F. Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish [J]. *Food Research International*, 1992, **25**(4): 289-307.
- [16] Duan Q Y, Mai K S. Comparative analyses of biochemical composition in net cultured and wild *Pseudosciaena crocea* (Richardson) [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University* (Natural Science Edition), 2000, **19**(2): 125-128. [段青源, 麦康森. 网箱养殖大黄鱼与天然大黄鱼营养成分的比较分析 [J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2000, **19**(2): 125-128.]
- [17] Zhao Y Y, Zhao J R, Hu Z C, *et al.* The effects of different baits on the growth and activities of the digestive tract and enzyme of the larvae and juvenile *Gobiocypris rarus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, **42**(1): 114-122. [赵月月, 赵健蓉, 胡佐灿, 等. 不同饵料对稀有鮡鲫仔稚鱼生长、消化道及消化酶的影响 [J]. 水生生物学报, 2018, **42**(1): 114-122.]
- [18] Gao L J, Lou B, Mao G M, *et al.* Comparison of biochemical components in muscles of *Paralichthys olivaceus* fed with different diets [J]. *Marine Fisheries*, 2009, **31**(3): 293-299. [高露姣, 楼宝, 毛国民, 等. 不同饵料饲养的褐牙鲈肌肉营养成分的比较 [J]. 海洋渔业, 2009, **31**(3): 293-299.]
- [19] Boulhic M, Gabaudan J. Histological study of the organogenesis of the digestive system and swim bladder of the Dover sole, *Solea solea* (Linnaeus 1758) [J]. *Aquaculture*, 1992, **102**(4): 373-396.
- [20] Gu S Q, Li L, Wang X C, *et al.* Properties of collagen extracted from the skin of farmed Chinese giant salamander (*Andrias davidianus* Blanchard) [J]. *Food Science*, 2014, **35**(9): 74-79. [顾赛麒, 李莉, 王锡昌, 等. 人工养殖大鲵皮胶原蛋白的性质研究 [J]. 食品科学, 2014, **35**(9): 74-79.]
- [21] Li L. Nutrition evaluation of farmed Chinese giant salamander (*Andrias davidianus* Blanchard) and physicochemical properties of collagen extracted from its skin [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013. [李莉. 人工养殖大鲵营养品质评价和鲵皮中胶原蛋白的提取及理化性质研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.]
- [22] Minamisako K, Kimura S. Characterization of muscle collagen from fleshy prawn *Penaeus chinensis* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology—Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 1989, **94**(2): 349-353.
- [23] Liu Z Y. The effects of bait strengthen on growth, survival rate, digestive enzyme activities and fatty acid of hybrid giant tigers grouper larvae [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2014. [刘忠优. 饵料强化对珍珠龙趸仔稚鱼生长、存活率、消化酶活性及脂肪酸的影响 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2014.]
- [24] Kolkovski S. Digestive enzymes in fish larvae and juveniles—implications and applications to formulated diets [J]. *Aquaculture*, 2001, **200**(1): 181-201.
- [25] Grendell J H, Rothman S S. Digestive end products mobilize secretory proteins from subcellular stores in the pancreas [J]. *The American Journal of Physiology*, 1981, **241**(1): G67-G73.
- [26] Yandi I, Altinok I. Altinok irreversible starvation using RNA/DNA on lab-grown larval anchovy, *Engraulis encrasicolus*, and evaluating starvation in the field-caught

- larval cohort [J]. *Fisheries Research*, 2018(201): 32-37.
- [27] Filho J C, Tsuzuki M Y, de Mello G L, *et al.* Growth of juvenile common snook (*Centropomus undecimalis* Bloch, 1792) reared at different temperatures and salinities: Morphometric parameters, RNA/DNA, and protein/DNA ratios [J]. *Taylor & Francis*, 2017, **29**(3-4): 199-206.
- [28] Buckley L J. Relationships between RNA-DNA ratio, prey density, and growth rate in Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae [J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1979, **36**(12): 1497-1502.
- [29] Papadimitriou E, Loumbourdis N S. Exposure of the frog *Rana ridibunda* to copper: impact on two biomarkers, lipid peroxidation, and glutathione [J]. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*, 2002, **69**(6): 885-891.

COMPARATIVE EXPERIMENT ON FORMULATED DIET AND SILVER CARP MEAT FOR GROWTH OF THE GIANT SALAMANDER (*ANDRIAS DAVIDIANUS*)

ZHANG Hao-Di¹, WANG Shuang¹, LI Hong², FENG Qi-Feng¹, CHEN Xiao-Chuan¹, LI Xue-Lian²,
LEI Deng-Hua³ and LUO Li¹

(1. Key Laboratory of Freshwater Reproduction and Development, Ministry of Education; College of Fisheries, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Chongqing Fishery Technology Promotion Station, Chongqing 400000, China; 3. Fisheries Technical Extension Station of Kaizhou District, Chongqing 405400, China)

Abstract: To study the effects of formulated diet and silver carp meat on the growth, digestion and antioxidant capacity of the giant salamander, a total of 48 juveniles of giant salamanders with an initial body weight of (20.99±0.15) g were randomly divided into 2 groups with 3 replicates, each containing 8 giant salamanders. These two groups fish were fed artificial formulated diet (55.67% crude protein and 6.83% crude fat) and silver carp meat (18.03% crude protein and 4.11% crude fat) for 92 days. The results showed that: (1) the weight gain rate (*WGR*), specific growth rate (*SGR*), protein deposition rate (*PRR*) and muscle protein synthesis ability of giant salamander in the feed group were significantly higher than those in the fish meat group. There was no significant difference in feed coefficient (*FCR*) and survival rate (*SR*) between two groups ($P>0.05$). (2) the contents of crude protein, skin collagen and crude ash in the diet group were significantly higher than those in the fish meat group ($P<0.05$), while the contents of water, crude fat and muscle crude fat and crude ash in the whole body were significantly lower than those in the fish meat group ($P<0.05$). (3) the pepsinase activity of the giant salamander fed with silver carp meat was significantly higher than that of the feed group ($P<0.05$), but there was no significant difference in H^+-K^+ ATPase activity in stomach and digestive enzyme activity in intestine between two groups ($P>0.05$). (4) total antioxidant capacity (T-AOC) and superoxide dismutase (SOD) activity in the liver of the giant salamander fed with artificial formulated diet were significantly higher than those of the fish meat group ($P<0.05$), while malondialdehyde (MDA) content in the liver was lower than that of the fish meat group ($P<0.05$). There was no significant difference in intestinal antioxidant index between two groups ($P>0.05$). These results indicated that artificial compound feed can improve giant salamander growth performance, the synthesis of skin collagen and liver antioxidant capacity, suggesting that artificial formulated diet can replace fresh bait as the main bait for the giant salamander.

Key words: *Andrias davidianus*; Formulated diet; Silver carp meat; Growth; Digestive enzymes; Antioxidation