

doi: 10.7541/2021.2020.202

亚东鲑幼鱼饲料中适宜淀粉种类与水平的研究

党江雨^{1,2,3} 高肇为^{1,2,3} 徐 祺^{1,2,3} 杨 航^{1,2,3} 李小勤^{1,2,3} 冷向军^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学水产科学国家级教学示范中心, 上海 201306; 2. 上海海洋大学农业农村部鱼类营养与环境生态研究中心, 上海 201306; 3. 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306)

摘要: 为考察淀粉种类与水平对亚东鲑(*Salmo trutta*)幼鱼生长性能、饲料利用、消化酶活性、肝脏生化指标和组织学的影响, 实验采用2×3双因素设计, 选取玉米淀粉和木薯淀粉, 分别以5%、10%和15%水平添加, 共配制6种等氮等脂饲料, 饲喂初始体重为(0.50±0.03) g的亚东鲑幼鱼84d。结果表明, 随着饲料中玉米淀粉和木薯淀粉水平的提高, 增重率呈现先上升后下降的趋势, 饲料系数则先下降后上升($P<0.05$), 其中10%木薯淀粉组增重率最高(518.8%), 饲料系数最低(1.32)。各组成活率、脏体比、肥满度和全鱼水分、粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量均没有显著差异($P>0.05$), 粗蛋白沉积率随淀粉水平的提高呈下降趋势, 其中15%水平组显著低于其他水平组($P<0.05$), 而脂肪沉积率则随着淀粉水平的升高先上升后下降, 且10%木薯淀粉组显著高于玉米淀粉组($P<0.05$); 淀粉种类和水平对胃蛋白酶和胃淀粉酶无显著影响($P>0.05$), 15%淀粉水平组肠淀粉酶和肠蛋白酶活性显著高于其他水平组($P<0.05$)。饲料中淀粉种类和水平对肝脏谷丙转氨酶、谷草转氨酶、总胆固醇和甘油三酯均无显著影响($P>0.05$), 15%淀粉组的肝糖原含量显著高于其他水平组($P<0.05$)。在肝脏组织学方面, 15%水平组较其余两个水平组表现出明显的细胞核移位和细胞空泡化现象。上述结果表明, 在实验条件下, 亚东鲑幼鱼饲料中淀粉的适宜添加水平为10%, 木薯淀粉的效果优于玉米淀粉。

关键词: 亚东鲑; 玉米淀粉; 木薯淀粉; 生长; 消化酶; 肝脏组织学

中图分类号: S965.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2022)01-0069-10



糖类, 即碳水化合物, 是食物中最廉价的能量来源, 在很多粮食作物中含量丰富^[1]。水生动物为变温动物, 相较于陆生动物, 体内代谢用于维持体温的比例低, 并不需要太多碳水化合物, 故其需求量较低。研究表明鱼类饲料中添加一定量的碳水化合物, 不仅可以减少饲料中蛋白质和脂肪的添加量, 节省饲料成本, 还可以提高鱼类的生长性能^[2,3]。淀粉因其来源广泛, 黏合性好^[4], 是水产饲料中使用最多的糖源。但不同来源的淀粉, 分子结构不同, 其支链和直链淀粉的比例存在差异^[5], 对利用率产生较大影响^[6-8], 进而影响水产动物的生长性能。关于鱼类对不同来源淀粉利用的相关研究在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[9,10]、大西洋鲑(*Salmo salar*)^[11]、大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)^[12]和达氏鳊(*Acipenser dabryanus*)^[13]等鱼类中已有报道。由于鱼类对糖的耐受能力有限, 饲料中过多的糖会

对鱼类造成生长减缓^[14]、肝脏损伤^[15]、血糖升高^[16]和免疫损伤^[17]等负面影响。

亚东鲑, 与褐鳟(*Salmo trutta*)同物异名, 属于鲑形目(Salmoniformes)鲑科(Salmonidae)鲑亚科(Salmoninae), 原产自欧洲、非洲北部和西亚一些地区^[18]。现已分布于30多个国家和地区^[19], 国内仅天然分布于西藏海拔3000 m的亚东河中^[20], 为外来引进物种。因为其在亚东河已形成自然种群, 故命名为亚东鲑, 是一种肉质鲜美, 营养丰富的特色养殖鱼类。目前, 国外关于褐鳟糖类营养研究的报道较少, Viaplana-Marín等^[21]发现, 低蛋白质/高碳水化合物饲料组较高蛋白质/低碳水化合物饲料组褐鳟的蛋白质合成速率没有显著差异, 但蛋白质降解速率增加, 使得蛋白质沉积率降低; 另外, 也有一些关于褐鳟饲料脂肪来源^[22-24]及脂肪替代^[25,26]对其造成的

收稿日期: 2020-09-09; 修订日期: 2021-04-16

基金项目: 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心项目(A1-2041-18-0011)资助 [Supported by the Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding (A1-2041-18-0011)]

作者简介: 党江雨(1996—), 男, 硕士研究生; 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: 583605269@qq.com

通信作者: 冷向军, 教授; 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: xjleng@shou.edu.cn

影响报道。国内关于褐鲟的营养需求研究仅见褐鲟幼鱼^[27]和成鱼^[28]的蛋白质和脂肪需求的报道,尚未见到有关碳水化合物需求的报道。

本实验以亚东鲑为研究对象,分别以玉米淀粉和木薯淀粉为糖源,设置不同的添加水平,考察对生长、体组成、消化酶活性及肝脏生化指标和肝脏组织学的影响,确定适宜淀粉种类与水平,为开发高效亚东鲑饲料提供理论依据,推动西藏当地亚东鲑养殖业的进一步发展。

1 材料与方法

1.1 实验设计与实验饲料

实验采用2×3双因素设计,分别以玉米淀粉和

木薯淀粉为糖源,设置3种淀粉水平(5%、10%和15%),共6种等氮等脂饲料。实验饲料配方含量见表1。使用膨润土和纤维素来平衡各组饲料组成。饲料原料购于浙江粤海饲料有限公司。各主要饲料原料被粉碎过60目筛后,按配方比例称取进行混合,用单螺杆挤压机(SLP-45,中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所)制成粒径2 mm的沉性颗粒饲料,自然风干,密封储藏于阴凉干燥处备用。

1.2 实验鱼和饲养管理

养殖实验在西藏亚东县春丕村亚东鲑繁育基地进行,实验鱼由繁育基地提供。实验鱼用商品饲料(INICIO Plus,粗蛋白58%,粗脂肪15%)暂养驯化2周后,选取720尾体格健壮、规格均一的亚东鲑

表1 实验饲料配方组成及营养成分含量

Tab. 1 Ingredients and proximate composition of experimental diets (%)

原料Ingredient ^a	玉米淀粉Corn starch (%)			木薯淀粉Cassava starch (%)		
	5	10	15	5	10	15
鱼粉Fish meal	50	50	50	50	50	50
豆粕Soybean meal	4	4	4	4	4	4
发酵豆粕Fermented soybean meal	4	4	4	4	4	4
谷朊粉Wheat gluten	4	4	4	4	4	4
大豆浓缩蛋白Soybean protein concentrate	8	8	8	8	8	8
玉米淀粉Corn starch	5	10	15			
木薯淀粉Cassava starch				5	10	15
鱼油Fish oil	3	3	3	3	3	3
豆油Soybean oil	3	3	3	3	3	3
乌贼膏Squid paste	2	2	2	2	2	2
大豆磷脂Soybean lecithin	3	3	3	3	3	3
维生素预混料Vitamin premix ^b	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
矿物质预混料Mineral premix ^c	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
纤维素Cellulose	8	4	0	8	4	0
膨润土Bentonite	2.83	1.83	0.83	2.83	1.83	0.83
茶多酚Tea polyphenols	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
氧化钇Yttrium oxide	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
总计Total	100	100	100	100	100	100
常规组成Proximate composition						
粗蛋白质Crude protein	46.50	46.78	46.87	46.83	46.59	46.80
粗脂肪Crude lipid	12.32	12.31	12.25	12.29	12.26	12.40
灰分Ash	12.64	11.79	10.78	12.61	11.45	10.97
水分Moisture	8.74	8.04	8.72	8.66	8.58	8.01

注: a. 饲料原料蛋白质含量如下: 鱼粉(67.8 %)、豆粕(44.9%)、发酵豆粕(50.0%)、大豆浓缩蛋白(65.0%)和谷朊粉(80.0%); b. 维生素预混料(mg或IU/kg 饲料): VA 10000 IU; VD₃ 3000 IU; VE 150 IU; VK₃ 12.17 mg; VB₁ 20 mg; VB₂ 20 mg; VB₃ 100 mg; VB₆ 22 mg; VB₁₂ 0.15 mg; VC 1000 mg (35%); 生物素 biotin 0.6 mg; 叶酸 folic acid 8 mg; 肌醇 inositol 500 mg; c. 矿物质预混料(mg或g/kg 饲料): I 1.5 mg; Co 0.6 mg; Cu 3 mg; Fe 63 mg; Zn 89 mg; Mn 11.45 mg; Se 0.24 mg; Mg 180 mg; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 20 g

Note: a. The protein contents of ingredients are as follow: Fish meal (67.8%); Soybean meal (44.9%); Fermented soybean meal (50.0%); Soybean protein concentrate (65.0%); Wheat gluten (80.0%); b. Vitamin premix (mg or IU/kg diet): Vitamin A 10000 IU; Vitamin D₃ 3000 IU; Vitamin E 150 IU; Vitamin K₃ 12.17 mg; Vitamin B₁ 20 mg; Vitamin B₂ 20 mg; Vitamin B₃ 100 mg; Vitamin B₆ 22 mg; Vitamin B₁₂ 0.15 mg; Vitamin C 1000 mg (35%); Biotin 0.6 mg; Folic acid 8 mg; Inositol 500 mg; c. Mineral premix (mg or g/kg diet): I 1.5 mg; Co 0.6 mg; Cu 3 mg; Fe 63 mg; Zn 89 mg; Mn 11.45 mg; Se 0.24 mg; Mg 180 mg; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 20 g

(0.50 ± 0.03) g, 随机分配到18个塑料框中(长0.55 m, 宽0.30 m, 高0.20 m, 水体体积 0.0165 m^3), 每个实验组3个重复, 每个重复40尾鱼。养殖模式为流水养殖, 水流量为12 L/min。养殖期间, 每天在(10:00、14:00和18:00)3个时间点进行投喂, 每天投喂量约为鱼体重的2.0%—3.0%, 同时随着水温 and 摄食情况适当调整, 各框保持一致的投饲量, 每次投喂以亚东鲑不浮上水面摄食和水面下不抢食为宜。养殖期间每天检测流水水质, 其基本指标如下: 溶氧 $>6 \text{ mg/L}$, 水温 $7.5\text{—}12.5^\circ\text{C}$, pH $7.5\text{—}8.0$, 氨氮 $<0.1 \text{ mg/L}$, 亚硝酸盐 $<0.1 \text{ mg/L}$, 并每周采用虹吸法吸污2次。养殖实验持续84d。

1.3 样品采集

养殖实验结束后, 将亚东鲑饥饿24h, 统计每框亚东鲑尾数并称重, 计算增重率(WGR)、饲料系数(FCR)和成活率。每框随机取3尾亚东鲑幼鱼, 测量其体重和体长, 然后解剖取内脏称重, 计算肥满度(CF)和脏体指数(HSI)。另取肝脏和肠道(全肠), -20°C 冷冻保存, 用于肝脏生化指标和胃、肠消化酶活性测定。同时从每个框中随机取6尾, 用于全鱼体成分分析, 并计算蛋白质和脂肪沉积率。另取6尾鱼的肝脏, 测定肝糖原含量。再取3尾鱼肝脏置于波恩固定液中固定, 用于肝脏组织学观察。

1.4 测定指标与方法

生长性能与形体指标 成活率(%)=100×终尾数(尾)/初尾数(尾);

增重率(%)=100×[末体重(g)–初体重(g)]/初体重(g);

饲料系数=采食量(g)/[末体重(g)–初体重(g)];

脏体比=100×内脏重(g)/体重(g);

肥满度(g/cm^3)=100×体重(g)/体长(cm)³;

蛋白质沉积率(%)=100×鱼体蛋白质贮积量/摄入饲料的蛋白质总量;

脂肪沉积率(%)=100×鱼体脂肪贮积量/摄入饲料的脂肪总量。

全鱼与饲料组成 全鱼与饲料的水分、粗蛋白含量测定分别采用 105°C 常压干燥法和凯氏定氮法(2300自动凯氏定氮仪, FOSS, 瑞典), 粗脂肪含量测定采用氯仿-甲醇抽提法, 粗灰分测定采用 550°C 高温灼烧法。

胃肠道消化酶测定 取胃、肠道(全肠)样本于 4°C 解冻, 稀释匀浆, 4°C 离心(3000 r/min, 10min), 保留上清液, 采用试剂盒测定消化酶活性。胃蛋白酶和淀粉酶活性采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒测定。肠道蛋白酶活性采用福林酚法测定。

肝脏生化指标及肝糖原含量测定 取肝脏样

本于 4°C 解冻, 稀释匀浆, 4°C 离心(3000 r/min, 10min), 保留上清液, 采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定肝脏谷草转氨酶(GOT)、谷丙转氨酶(GPT)、总胆固醇(TCHO)和甘油三酯(TG)活性。

将肝脏样本于 4°C 解冻后, 称重, 将肝脏与碱液以1:3的体积混合, 在沸水浴中加热20 min, 得到水解液, 采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定肝糖原含量。

肝脏组织切片 石蜡切片HE染色: 将亚东鲑肝脏样品从固定液中取出, 用不同浓度的酒精、酒精和二甲苯混合液、二甲苯逐级脱水, 之后进行浸蜡、包埋、切片、染色等工作。染色后装片, 待干燥后在电子显微镜下观察其组织形态。

1.5 数据处理

采用SPSS25.0软件进行单因子方差分析和双因素方差分析, 结果用“平均值±标准误”表示, 其中差异显著者进行Duncan多重比较, 差异显著水平为 $P<0.05$ 。

2 结果

2.1 生长性能和形体指标

在养殖过程中, 各组存活率都在96%以上(表2)。随着饲料中玉米淀粉和木薯淀粉水平的提高, 增重率先上升后下降, 饲料系数则先下降后上升($P<0.05$), 并在10%水平组达到最值, 其中10%木薯淀粉组增重率最高(518.81%), 饲料系数最低(1.32), 15%淀粉组的增重率显著低于10%和5%组($P<0.05$)。在同一淀粉水平下, 2种淀粉组的增重率和饲料系数没有显著差异($P>0.05$)。饲料淀粉水平对增重率、饲料系数存在显著影响($P<0.05$), 淀粉种类及其交互作用没有显著影响($P>0.05$), 而饲料淀粉种类和水平对成活率、脏体比和肥满度均无显著影响($P>0.05$)。

2.2 全鱼组成和营养物质沉积率

各组在全鱼水分、粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量上均无显著差异($P>0.05$)。饲料淀粉水平对蛋白质沉积率存在显著影响($P<0.05$), 淀粉种类和水平对脂肪沉积率存在显著影响($P<0.05$), 但二者交互作用对其影响不显著($P>0.05$)。15%水平组蛋白质沉积率显著低于其他水平($P<0.05$); 而脂肪沉积率则随着淀粉水平的升高先上升后下降, 10%木薯淀粉组显著高于玉米淀粉组($P<0.05$; 表3)。

2.3 胃肠道消化酶

在表4中, 淀粉种类和水平及其交互作用对胃蛋白酶和胃淀粉酶活性没有显著影响($P>0.05$), 但淀粉水平显著影响肠淀粉酶和肠蛋白酶活性($P<$

0.05)。随着饲料中淀粉水平的提高, 肠淀粉酶和肠蛋白酶呈现上升趋势, 5%淀粉水平组的肠淀粉酶和肠蛋白酶均显著低于其他水平($P<0.05$)。

2.4 肝脏生化指标及肝糖原

由表 5 可见, 淀粉种类和水平及其交互作用对肝脏GPT、GOT活性和TCHO、TG含量均没有显著影响($P>0.05$)。淀粉水平对肝糖原含量存在显著

影响($P<0.05$), 随着饲料中淀粉水平的提高, 肝糖原含量呈上升趋势, 15%淀粉水平组显著高于其他水平($P<0.05$)。

2.5 肝脏组织学

如图 1 所示, 随着木薯淀粉和玉米淀粉水平的提高, 肝细胞开始肿胀, 出现细胞核位移和空泡化现象, 其中以15%淀粉组较为明显。

表 2 饲料淀粉种类和水平对亚东鲑幼鱼生长性能和形体指标的影响
Tab. 2 Effects of dietary starch on growth and morphological indices of brown trout juvenile

项目 Item	淀粉种类 Starch type	淀粉水平 Starch level (%)			双因素方差分析 P 值 P -value of two-way ANOVA		
		5	10	15	T	L	T×L
初始均重IBW (g)	玉米淀粉	0.50±0.03	0.50±0.02	0.50±0.04			
	木薯淀粉	0.50±0.06	0.50±0.05	0.50±0.01			
终末均重FBW (g)	玉米淀粉	2.96±0.02 ^a	3.02±0.05 ^a	2.71±0.05 ^b	0.215	0.000	0.321
	木薯淀粉	2.97±0.02 ^b	3.09±0.04 ^a	2.71±0.03 ^c			
增重率WGR (%)	玉米淀粉	491.5±3.8 ^a	503.9±9.6 ^a	442.9±10.1 ^b	0.242	0.000	0.304
	木薯淀粉	494.3±4.8 ^b	518.8±8.0 ^a	441.2±6.4 ^c			
饲料系数FCR	玉米淀粉	1.37±0.03 ^b	1.36±0.01 ^b	1.54±0.03 ^a	0.175	0.000	0.855
	木薯淀粉	1.36±0.03 ^b	1.32±0.04 ^b	1.52±0.03 ^a			
成活率SR (%)	玉米淀粉	98.3±1.2	96.7±1.2	97.5±0.00	0.558	0.272	0.703
	木薯淀粉	98.3±2.4	96.7±2.4	99.2±1.2			
肥满度CF (g/cm ³)	玉米淀粉	1.49±0.13	1.50±0.11	1.48±0.12	0.809	0.953	0.925
	木薯淀粉	1.50±0.18	1.57±0.18	1.41±0.07			
脏体比VSI	玉米淀粉	7.80±1.24	8.32±0.95	8.51±1.53	0.147	0.401	0.497
	木薯淀粉	8.24±0.95	9.24±0.90	8.49±1.33			

注: 同行数据肩标不同小写字母表示同种淀粉不同水平组间差异显著($P<0.05$); 同一指标下的同列数据肩标不同大写字母表示同一水平不同种类淀粉组间差异显著($P<0.05$)。T. 淀粉种类; L. 淀粉水平; 下同

Note: In the same row, values with different superscripts in lowercase letters indicated significant difference among different starch level groups following the same starch type ($P<0.05$); in the same column, values with different capital letter superscripts indicated significant difference among different starch groups following the same starch level ($P<0.05$). T. starch type; L. starch level. The same applies below

表 3 饲料淀粉种类和水平对亚东鲑幼鱼全鱼组成和营养物质沉积率的影响
Tab. 3 Effects of dietary starch on body composition and nutrient retention of brown trout juvenile (%)

项目 Item	淀粉种类 Starch type	淀粉水平 Starch level (%)			双因素方差分析 P 值 P -value of two-way ANOVA		
		5	10	15	T	L	T×L
水分Moisture	玉米淀粉	77.23±0.74	77.67±0.34	77.13±0.43	0.659	0.297	0.336
	木薯淀粉	76.62±0.74	77.36±0.26	77.64±0.50			
粗蛋白质Crude protein	玉米淀粉	15.37±0.19	15.02±0.58	15.06±0.21	0.740	0.220	0.999
	木薯淀粉	15.42±0.15	15.08±0.19	15.18±0.47			
粗脂肪Crude lipid	玉米淀粉	2.72±0.10	2.82±0.37	2.90±0.42	0.699	0.755	0.972
	木薯淀粉	2.79±0.45	2.95±0.12	2.92±0.21			
粗灰分Ash	玉米淀粉	2.08±0.03	2.10±0.01	2.12±0.07	0.420	0.851	0.721
	木薯淀粉	2.09±0.02	2.07±0.03	2.08±0.05			
蛋白质沉积率Protein retention (%)	玉米淀粉	25.44±0.53 ^a	24.74±0.12 ^a	22.13±0.48 ^b	0.146	0.000	0.538
	木薯淀粉	25.49±0.63 ^a	25.65±0.78 ^a	22.63±0.50 ^b			
脂肪沉积率Lipid retention (%)	玉米淀粉	17.97±0.35 ^b	18.73±0.08 ^{aB}	16.70±0.22 ^c	0.005	0.000	0.081
	木薯淀粉	18.55±0.43 ^b	20.27±0.58 ^{aA}	17.84±0.22 ^c			

3 讨论

3.1 饲料淀粉种类和水平对亚东鲑幼鱼生长性能的影响

尽管鱼类对碳水化合物没有特别的需求,但一定量的碳水化合物当做能量被添加进鱼类饲料中时,可以减少蛋白质和脂肪作为能量物质的分解,从而使更多的蛋白质和脂肪用于鱼体的生长,提高饲料利用的效率^[1, 29]。在大西洋鲑(*Salmo salar*)^[30]和鲈(*Lateolabrax japonicus*)^[31]中的研究表明,饲料中淀粉水平为9%和12%时,鱼体生长性能得到了显著提升。在本实验中,适量的淀粉添加水平也改善了亚东鲑幼鱼的生长性能,根据增重率和饲料系数,亚东鲑幼鱼饲料中淀粉的适宜水平为10%,与虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[32]对碳水化合物的需要量(12%)基本一致。而尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*)^[33]和草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)^[34]饲料中碳水化合物的最适添加量可达到22%和30%以上,远远高于亚东鲑,这是因为亚东鲑属于

肉食性冷水鱼类,较杂食性和草食性鱼类利用糖的能力差^[2],对碳水化合物的需要量相对较低。

此外,淀粉的来源也会对鱼类生长产生影响。淀粉由直链淀粉和支链淀粉两种结构淀粉组成,支链淀粉比直链淀粉更容易被酶水解,所以两者的比例会影响淀粉的消化利用,从而影响水产动物生长^[11]。Li等^[35]和刘子科等^[12]的研究表明,在大口黑鲈摄入直链淀粉比例高的淀粉源后,其直链淀粉在加工过程中形成难以被消化的抗性淀粉,使实验鱼的餐后血糖水平较低,从而表现出对直链淀粉比例高的淀粉源有较好的利用效果,而虹鳟对支链淀粉比例高的淀粉源的利用程度更高^[36]。所以,不同鱼种对不同比例的直链淀粉和支链淀粉的淀粉源利用程度不同。本实验中10%木薯淀粉组的增重率高于玉米淀粉,但差异不显著,表明亚东鲑可能对支链淀粉比例高的淀粉源的利用程度高,这有待进一步研究。

3.2 饲料淀粉种类和水平对亚东鲑幼鱼全鱼组成的影响

在大黄鱼^[37]中的研究显示,随着淀粉水平的提

表 4 饲料淀粉种类和水平对亚东鲑幼鱼胃肠道消化酶的影响

Tab. 4 Effects of dietary starch on digestive enzyme activities of brown trout juvenile

指标 Index (U/mg prot)	淀粉种类 Starch type	淀粉水平 Starch level (%)			双因素方差分析P值 P-value of two-way ANOVA		
		5	10	15	T	L	T×L
胃蛋白酶Pepsin	玉米淀粉	26.23±2.84	27.06±0.92	27.12±3.45	0.733	0.817	0.919
	木薯淀粉	25.37±4.32	25.47±4.63	27.50±3.05			
胃淀粉酶Stomach amylase	玉米淀粉	0.33±0.03	0.34±0.03	0.33±0.05	0.957	0.345	0.423
	木薯淀粉	0.29±0.03	0.35±0.04	0.35±0.03			
肠蛋白酶Intestine protease	玉米淀粉	274.22±6.69 ^b	339.64±9.00 ^a	364.66±6.60 ^a	0.117	0.000	0.657
	木薯淀粉	281.25±10.93 ^b	369.88±7.92 ^a	407.94±12.39 ^a			
肠淀粉酶Intestine amylase	玉米淀粉	0.29±0.03 ^b	0.38±0.03 ^a	0.45±0.05 ^a	0.886	0.000	0.771
	木薯淀粉	0.27±0.03 ^b	0.40±0.05 ^a	0.45±0.04 ^a			

表 5 饲料淀粉种类和水平对亚东鲑幼鱼肝脏生化指标及肝糖原的影响

Tab. 5 Effects of dietary starch on liver biochemical indices and liver glycogen of brown trout juvenile

指标 Index	淀粉种类 Starch type	淀粉水平 Starch level (%)			双因素方差分析P值 P-value of two-way ANOVA		
		5	10	15	T	L	T×L
谷丙转氨酶GPT (U/g prot)	玉米淀粉	79.41±14.04	73.73±8.95	71.85±6.92	0.707	0.902	0.650
	木薯淀粉	75.46±9.31	74.73±10.45	81.90±12.56			
谷草转氨酶GOT (U/g prot)	玉米淀粉	106.64±9.81	97.79±12.92	92.49±17.59	0.616	0.540	0.678
	木薯淀粉	107.84±15.01	94.95±4.54	106.50±18.43			
总胆固醇TCHO (mmol/g prot)	玉米淀粉	3.91±0.44	4.04±0.47	4.21±0.07	0.171	0.308	0.889
	木薯淀粉	4.07±0.45	4.39±0.27	4.58±0.25			
甘油三酯TG (mmol/g prot)	玉米淀粉	5.92±0.28	6.11±0.66	5.91±0.46	0.190	0.530	0.604
	木薯淀粉	6.51±0.11	6.31±0.11	6.00±0.19			
肝糖原Liver glycolgen (mg/g)	玉米淀粉	77.46±5.12 ^a	84.95±8.58 ^a	109.01±7.59 ^b	0.445	0.001	0.699
	木薯淀粉	82.48±7.62 ^a	92.02±6.98 ^a	107.28±8.95 ^b			

高,全鱼脂肪含量上升。但在赤点石斑鱼(*Epinephelus akaara*)^[38]和黄鳍鲷(*Sparus latus*)^[39]的研究中,随着碳水化合物水平的提高,鱼体粗脂肪含量下降。本实验中亚东鲑全鱼组成不受淀粉种类与水平的影响,与在大菱鲆(*Scophthalmus maximus* Linnaeus)^[40]上的报道类似。这可能是因为不同种鱼类对淀粉利用能力的不同导致的。

虽然本实验中全鱼组成没有显著差异,但淀粉水平显著影响着蛋白质沉积率和脂肪沉积率:15%淀粉组的蛋白质沉积率显著低于其他两个水平组,10%淀粉水平组的脂肪沉积率显著高于其他2个水平,这主要是由增重的差异所决定的。此外,木薯淀粉10%组的脂肪沉积率显著高于玉米淀粉10%组,可能亚东鲑幼鱼能更好地利用支链淀粉。

3.3 饲料淀粉种类和水平对亚东鲑幼鱼胃肠道消化酶的影响

消化酶的活性可在一定程度上衡量鱼类对饲料营养成分消化、吸收和利用程度。在本实验饲料中,淀粉种类和水平对亚东鲑胃蛋白酶及胃淀粉酶活性无显著影响,而肠蛋白酶及肠淀粉酶随着淀粉水平的提高而增加。在军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[4]、黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)^[41]和洛氏鲷(*Rhynchocypris lagowskii* Dybowski)^[42]中也有过类似的报道。淀粉酶活性增加,可能是鱼类为了适应高碳水化合物而做出的适应性调整^[43]。

3.4 饲料淀粉种类和水平对亚东鲑幼鱼肝脏生化指标影响

GOT和GPT是反映肝脏功能的重要指标,甘油

三酯和胆固醇则反映鱼类机体脂肪代谢情况。在大口黑鲈^[44]的研究中,21.74%碳水化合物水平组血清GOT和GPT活性显著高于5.93%、8.71%和11.96%碳水化合物水平组,在翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis* Bleeker)^[45]中也有类似报道;高水平的碳水化合物也导致了翘嘴红鲌^[46]和鲤(*Cyprinus carpio*)^[47]血清甘油三酯和胆固醇含量显著提高。在本实验中,由于鱼体规格小,无法采血测定血液生理生化指标,故只测了肝脏部分生化指标,结果表明,淀粉种类及水平对甘油三酯和胆固醇含量及转氨酶活性并无显著影响,说明亚东鲑转化糖类为脂肪的能力较弱,并没有导致脂肪在肝脏的积累;肝脏GOT和GPT活性在各组没有显著差异,但由于没有检测其在血液中的变化,尚不足以据此评判肝脏的健康状况,需结合肝脏组织学等加以综合评判。

3.5 饲料淀粉种类和水平对亚东鲑幼鱼肝脏组织学影响

在鱼类摄入淀粉后,首先会被 α -淀粉酶水解为麦芽糖,进一步水解释放出葡萄糖,葡萄糖在生糖作用下合成糖原储存起来。所以摄入含高水平糖类的饲料会造成肉食性鱼类肝脏糖原升高,不利于鱼类的正常代谢,并导致生长的下降^[48]。在本实验中,肝糖原含量随着淀粉水平的提高显著提高,与Lygren等^[49]、刘浩等^[50]和Moreira等^[51]在大西洋鲑、斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)和欧洲狼鲈(*Dicentrarchus labrax*)中的报道一致。

Pereira等^[52]在虹鳟上的研究表明,肝细胞同时

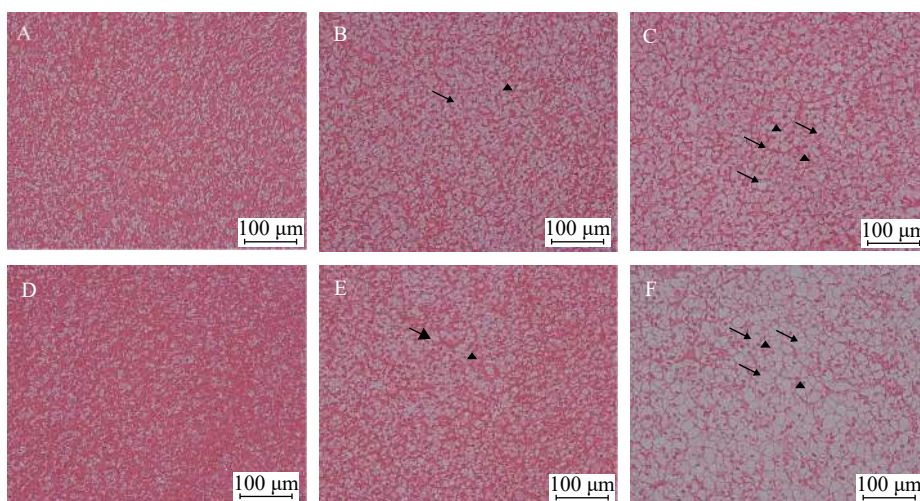


图1 亚东鲑幼鱼肝脏组织切片

Fig. 1 Tissue slices of brown trout juvenile liver (200×)

A. 5%玉米淀粉组; B. 10%玉米淀粉组; C. 15%玉米淀粉组; D. 5%木薯淀粉组; E. 10%木薯淀粉组; F. 15%木薯淀粉组; “→”示空泡化,“▲”示细胞核偏移

A. 5% corn starch; B. 10% corn starch; C. 15% corn starch; D. 5% cassava starch; E. 10% cassava starch; F. 15% cassava starch; “→” shifted to vacuolation, “▲” shifted to the periphery of the hepatocytes

存在糖原合成和糖原分解的过程, 鱼类长期摄入高糖饲料, 导致肝糖原的积累, 会使鱼类产生营养胁迫。异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)^[53]和吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[54]在摄入高糖饲料后, 肝脏细胞脂滴和糖原颗粒大量出现, 说明鱼类无法及时将糖分解代谢, 对肝脏细胞造成了一定程度损伤。在本实验中, 随着饲料淀粉水平增加, 肝脏细胞空泡化现象逐渐加重, 并且存在细胞核移位等现象, 这在松浦镜鲤(*Cyprinus carpio specularis*)^[55]、大口黑鲈^[56]和南方鲇(*Silurus meridionalis*)^[57]的研究结果中也有类似现象出现, 这可能是由于肝脏负担过重, 鱼类对糖代谢负担过大所致。

4 结论

在本实验条件下, 以生长性能、饲料利用、胃肠道消化酶、肝脏生化指标和组织学等指标为依据, 亚东鲑幼鱼饲料中淀粉的适宜添加水平为10%, 且木薯淀粉优于玉米淀粉。

参考文献:

- [1] Stone D A J. Dietary carbohydrate utilization by fish [J]. *Reviews in Fisheries Science*, 2003, **11**(4): 337-369.
- [2] Wilson R P. Utilization of dietary carbohydrate by fish [J]. *Aquaculture*, 1994, **124**(1-4): 67-80.
- [3] Kroghdahl A, Hemre G I, Mommsen T P. Carbohydrates in fish nutrition: digestion and absorption in postlarval stages [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2005, **11**(2): 103-122.
- [4] Ren M C. Studies on nutritional physiology of carbohydrate for cobia and rainbow trout [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012: 22. [任鸣春. 军曹鱼和虹鳟糖类营养生理研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012: 22.]
- [5] Tester R F, Karkalas J, Xin Q. Starch—composition, fine structure and architecture [J]. *Journal of Cereal Science*, 2004(2): 151.
- [6] Liu X H, Ye C X, Ye J D, *et al.* Effects of dietary amylose/amylopectin ratio on growth performance, feed utilization, digestive enzymes, and postprandial metabolic responses in juvenile obscure puffer *Takifugu obscurus* [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2014, **40**(5): 1423-1436.
- [7] Gominho-Rosa M, Rodrigues A, Mattioni B, *et al.* Comparison between the omnivorous jundia catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the utilization of dietary starch sources: digestibility, enzyme activity and starch microstructure [J]. *Aquaculture*, 2015(435): 92-99.
- [8] Gaylord T G, Barrows F T, Rawles S D, *et al.* Apparent digestibility of nutrients and energy in extruded diets from cultivars of barley and wheat selected for nutritional quality in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2009(3): 306-312.
- [9] Bergot F. Digestibility of native starches of various botanical origins by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Fish Nutrition in Practice*, 1993(61): 857-865.
- [10] Bergot F, Breque J. Digestibility of starch by rainbow trout: effects of the physical state of starch and of the intake level [J]. *Aquaculture*, 1983(34): 203-212.
- [11] Hemre G I, Hansen T. Utilisation of different dietary starch sources and tolerance to glucose loading in Atlantic salmon (*Salmo salar*), during parr-smolt transformation [J]. *Aquaculture*, 1998, **161**(1-4): 145-157.
- [12] Liu Z K, Chen N S, Wang M L, *et al.* Suitable dietary starch source and supplementation level for largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, **24**(2): 317-331. [刘子科, 陈乃松, 王孟乐, 等. 大口黑鲈饲料中适宜的淀粉源及添加水平 [J]. *中国水产科学*, 2017, **24**(2): 317-331.]
- [13] Chu Z P, Wei Q W, Du H, *et al.* Effects of different carbohydrate sources on growth performance, body composition, and physiological and biochemical parameters of juvenile Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*) [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, **24**(2): 284-294. [褚志鹏, 危起伟, 杜浩, 等. 不同糖源对达氏鲟幼鱼生长、体成分及生理生化指标的影响 [J]. *中国水产科学*, 2017, **24**(2): 284-294.]
- [14] Wu F, Wen H, Jiang M, *et al.* Effects of different dietary carbohydrate levels on growth performance and blood biochemical parameters of juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2012, **40**(12): 8-14. [吴凡, 文华, 蒋明, 等. 饲料碳水化合物水平对吉富罗非鱼幼鱼生长性能和血液主要生化指标的影响 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2012, **40**(12): 8-14.]
- [15] Rui Sá, Pousão-Ferreira P, Aires Oliva-Teles. Effect of dietary starch source (normal versus waxy) and protein levels on the performance of white sea bream *Diplodus sargus* (Linnaeus) juveniles [J]. *Aquaculture Research*, 2008(10): 1069-1076.
- [16] Cai C F, Chen L Q. The metabolism of dietary carbohydrate by fish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2008, **32**(4): 592-597. [蔡春芳, 陈立桥. 鱼类对糖的代谢 [J]. *水生生物学报*, 2008, **32**(4): 592-597.]
- [17] Vielma J, Koskela J, Ruohonen K, *et al.* Optimal diet composition for European whitefish (*Coregonus lavaretus*): carbohydrate stress and immune parameter responses [J]. *Aquaculture*, 2003, **225**(1): 3-16.
- [18] Maccrimmon H R, Marshall T L, Gots B L. World distribution of brown trout, *Salmo trutta*: further observations [J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1970, **27**(4): 811-818.
- [19] Hao F H. Studies on the biology and genetic diversity of *Salmo trutta fario* L., from Yadong River, Tibet [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of

- Sciences, 2006: 3-6. [豪富华. 亚东鲑的生物学和遗传多样性研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2006: 3-6.]
- [20] Zhang C L, Wang W B. A preliminary report on the fishes from Tibet [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1962(4): 529-536. [张春霖, 王文滨. 西藏鱼类初篇 [J]. 动物学报, 1962(4): 529-536.]
- [21] Viaplana-Marín I, Fernándezborrás J, Blasco J. Effects of the protein/carbohydrate ratio of extruded diets on protein synthesis, protein growth and body composition in juvenile brown trout (*Salmo trutta*) [J]. *Aquaculture International*, 2006, **14**(4): 337-353.
- [22] Turchini G M, Mentasti T, Frøyland L, *et al.* Effects of alternative dietary lipid sources on performance, tissue chemical composition, mitochondrial fatty acid oxidation capabilities and sensory characteristics in brown trout (*Salmo trutta* L.) [J]. *Aquaculture*, 2003, **225**(1): 251-267.
- [23] Turchini G M, Mentasti T, Caprino F, *et al.* Effects of dietary lipid sources on flavour volatile compounds of brown trout (*Salmo trutta* L.) fillet [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2010, **20**(1): 5.
- [24] Bayir A, Sirkecioglu A, Bayir M, *et al.* Effects of dietary lipid source on growth, survival, and fatty acid composition of brown trout juveniles, *Salmo trutta* [J]. *Israeli Journal of Aquaculture-amidegh*, 2011(63): 622-630.
- [25] Arslan M, Sirkecioglu N, Bayir A, *et al.* The influence of substitution of dietary fish oil with different vegetable oils on performance and fatty acid composition of brown trout, *Salmo trutta* [J]. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2012(3): 575-583.
- [26] Kenari A A, Mozanzadeh M T, Pourgholam R. Effects of total fish oil replacement to vegetable oils at two dietary lipid levels on the growth, body composition, haemato-immunological and serum biochemical parameters in caspian brown trout (*Salmo trutta caspius* Kessler, 1877) [J]. *Aquaculture Research*, 2011(8): 1131-1144.
- [27] Gao B W, Yang H, He M, *et al.* A study on the proper protein and lipid levels in the diet of *Salmo trutta* juveniles [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2020, **44**(3): 470-478. [高攀为, 杨航, 何明, 等. 亚东鲑幼鱼饲料蛋白和脂肪适宜水平的研究 [J]. 水生生物学报, 2020, **44**(3): 470-478.]
- [28] Wang C A, Hu G, Sun P, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth performance, digestive enzyme activities and serum indices of *Salmo trutta fario* broodstock [J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2017, **29**(2): 571-582. [王常安, 户国, 孙鹏, 等. 饲料蛋白质和脂肪水平对亚东鲑亲鱼生长性能、消化酶活性和血清指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2017, **29**(2): 571-582.]
- [29] Hemre G I, Mommsen T P, Krogdahl Å. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2002, **8**(3): 175-194.
- [30] Hemre G I, Sandnes K, Lie Ø, *et al.* Carbohydrate nutrition in Atlantic salmon, *Salmo salar* L.: growth and feed utilization [J]. *Aquaculture Research*, 1995, **26**(3): 149-154.
- [31] Dou B S. Effect of dietary carbohydrate and lipid levels on growth performance and physiological status of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) in different growth stages [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013: 17-20. [窦兵帅. 饲料中碳水化合物及脂肪水平对鲈鱼中、后期生长性能及生理状态的影响 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2013: 17-20.]
- [32] Phillips S M. Utilization of carbohydrate by trout [J]. *Fisheries Research Bulletin*, 1948(11): 1-44.
- [33] Wang Y, Liu Y J, Tian L X, *et al.* Effects of dietary carbohydrate level on growth and body composition of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. *Aquaculture Research*, 2006(14): 1408-1413.
- [34] Tian L X, Liu Y J, Feng J, *et al.* Effects of different types of starch on growth, the deposition of mesenteric fat and body composition of *Ctenopharyngodon idellus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2002, **26**(3): 247-251. [田丽霞, 刘永坚, 冯健, 等. 不同种类淀粉对草鱼生长、肠系膜脂肪沉积和鱼体组成的影响 [J]. 水产学报, 2002, **26**(3): 247-251.]
- [35] Li S L, Sang C Y, Wang A, *et al.* Effects of dietary carbohydrate sources on growth performance, glycogen accumulation, insulin signaling pathway and hepatic glucose metabolism in largemouth bass, *Micropterus salmoides* [J]. *Aquaculture*, 2019(S13): 513.
- [36] Pfeffer E, Beckmann-Toussaint J, Henrichfreise B, *et al.* Effect of extrusion on efficiency of utilization of maize starch by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1991, **93**(3-4): 293-303.
- [37] Ma H N, Wang M Q, Lu Y, *et al.* Effects of carbohydrate type and level on growth performance, serum biochemical indices, hepatic glycometabolism-related enzyme activities and hepatic glycogen content of large yellow croaker (*Larimichthys crocea* Richardson) [J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2017(3): 824-835. [马红娜, 王猛强, 陆游, 等. 碳水化合物种类和水平对大黄鱼生长性能、血清生化指标、肝脏糖代谢相关酶活性及肝糖原含量的影响 [J]. 动物营养学报, 2017(3): 824-835.]
- [38] Wang J, Li X, Han T, *et al.* Effects of different dietary carbohydrate levels on growth, feed utilization and body composition of juvenile grouper *Epinephelus akaara* [J]. *Aquaculture*, 2016(459): 143-147.
- [39] Tian L X, Liu Y J, Yang H J, *et al.* Optimal dietary carbohydrate to lipid ratio for juvenile yellowfin seabream (*Sparus latus*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2008, **13**(4): 291-297.
- [40] Li X N. Effects of dietary carbohydrate levels on growth performance, physiological status and body composition of turbot (*Scophthalmus maximus* Linnaeus) and Japa-

- nese flounder (*Paralichthys olivaceus*) [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011: 17-19. [李晓宁. 饲料糖水平对大菱鲆和牙鲆生长、生理状态参数及体组成的影响 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011: 17-19.]
- [41] Hua Y. Utilization and mechanism of carbohydrate in diet of juvenile black bream [D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2017: 54-55. [华颖. 黑鲷幼鱼对饲料中碳水化合物利用及其机理研究 [D]. 浙江: 浙江大学, 2017: 54-55.]
- [42] Zhai Z H, Wu L F, Zhou K, *et al.* Effects of dietary carbohydrate levels on activities of digestive enzymes and carbohydrate metabolic enzymes of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski [J]. *Journal of Northwest A & F University* (Natural Science Edition), 2019(2): 25-32. [瞿子惠, 吴莉芳, 周锴, 等. 饲料碳水化合物水平对洛氏鲮消化酶和糖代谢酶活性的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019(2): 25-32.]
- [43] Gao M, Luo Y P, Cao Z D. Effect of dietary carbohydrate on digestive enzyme activities in southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) juveniles [J]. *Journal of Southwest China Normal University* (Natural Science), 2006, **31**(2): 119-123. [高梅, 罗毅平, 曹振东. 饲料碳水化合物对南方鲢幼鱼消化酶活性的影响 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2006, **31**(2): 119-123.]
- [44] Gou S P, Chen N S, Xu X T, *et al.* Effects of dietary digestible starch levels on growth performance, body composition, and non-specific immunological index of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, **39**(10): 1499-1510. [苟仕潘, 陈乃松, 徐祥泰, 等. 饲料中可消化淀粉对大口黑鲈生长、体组成和非特异性免疫指标的影响 [J]. 水产学报, 2015, **39**(10): 1499-1510.]
- [45] Liu B, Xie J, Ge X P, *et al.* Effect of high dietary carbohydrate on growth, serum physiological response, and hepatic heat shock cognate protein 70 expression of the top-mouth culter *Erythroculter ilishaeformis* Bleeker [J]. *Fisheries Science*, 2012(3): 613-623.
- [46] Ge X P, Liu B, Xie J, *et al.* Effect of different carbohydrate levels of dietary on growth, plasma biochemical indices and hepaticpancreas carbohydrate metabolic enzymes in topmouth culter (*Erythroculter ilishaeformis* Bleeker) [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2007, **30**(3): 88-93. [戈贤平, 刘波, 谢骏, 等. 饲料中不同碳水化合物水平对翘嘴红鲌生长及血液指标和糖代谢酶的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2007, **30**(3): 88-93.]
- [47] Sun J H, Fan Z, Cheng Z Y, *et al.* Effects of dietary corn starch supplemental level on growth performance, digestive enzyme activities and serum biochemical indices of common carp [J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2016, **28**(4): 1152-1159. [孙金辉, 范泽, 程镇燕, 等. 饲料中玉米淀粉添加水平对鲤生长性能、消化酶活性及血清生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2016, **28**(4): 1152-1159.]
- [48] Hilton J W, Atkinson J L. Response of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to increased levels of available carbohydrate in practical trout diets [J]. *British Journal of Nutrition*, 1982, **47**(3): 597-607.
- [49] Lygren B, Hemre G I. Influence of dietary carbohydrate on antioxidant enzyme activities in liver of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) [J]. *Aquaculture International*, 2001, **9**(5): 421-427.
- [50] Liu H, Yang J J, Dong X H, *et al.* Effects of dietary carbohydrate level on growth performance, body composition, plasma biochemical parameters and intestinal and liver enzyme activities of orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*) [J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2020, **32**(1): 357-371. [刘浩, 杨俊江, 董晓慧, 等. 饲料碳水化合物水平对斜带石斑鱼生长性能、体成分、血浆生化指标及肠道和肝脏酶活性的影响 [J]. 动物营养学报, 2020, **32**(1): 357-371.]
- [51] Moreira I S, Peres H, Couto A, *et al.* Temperature and dietary carbohydrate level effects on performance and metabolic utilisation of diets in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 2008, **274**(1): 153-160.
- [52] Pereira C, Vijayan M M, Storey K B, *et al.* Role of glucose and insulin in regulating glycogen synthase and phosphorylase activities in rainbow trout hepatocytes [J]. *Journal of Comparative Physiology B*, 1995, **165**(1): 62-70.
- [53] Miao L H, Liu B, Ge X P, *et al.* Effect of high carbohydrate levels in the dietary on growth performance, immunity and transmission electron microscopy (TEM) on hepatic cell of allogynogenetic crucian carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011(2): 221-230. [缪凌鸿, 刘波, 戈贤平, 等. 高碳水化合物水平日粮对异育银鲫生长、生理、免疫和肝脏超微结构的影响 [J]. 水产学报, 2011(2): 221-230.]
- [54] Jiang L H, Wu H Y, Huang K, *et al.* Effects of dietary carbohydrate levels on growth performance and liver metabolism functions of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013(2): 245-255 [蒋利和, 吴宏玉, 黄凯, 等. 饲料糖水平对吉富罗非鱼幼鱼生长和肝代谢功能的影响 [J]. 水产学报, 2013(2): 245-255.]
- [55] Li J N, Wang C A, Wang L S, *et al.* Effects of different carbohydrate types and carbohydrate levels on intestinal digestive enzyme activities, intestinal and liver histological structure of songpu mirror carp (*Cyprinus carpio specularis*) [J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2016(10): 3217-3224. [李晋南, 王常安, 王连生, 等. 不同糖种类及糖水平对松浦镜鲤肠道消化酶活性及肠道和肝脏组织结构的影响 [J]. 动物营养学报, 2016(10): 3217-3224.]
- [56] Xu X T, Chen N S, Liu Z K, *et al.* Effects of dietary starch sources and levels on liver histology in largemouth

- bass, *Micropterus salmoides* [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2016(1): 61-70. [徐祥泰, 陈乃松, 刘子科, 等. 饲料中不同淀粉源及水平对大口黑鲈肝脏组织学的影响 [J]. 上海海洋大学学报, 2016(1): 61-70.]
- [57] Cheng C, Xie X J, Luo Y P, *et al.* Effect of dietary carbohydrate level on histology of liver, pancreas and kidney in the southern catfish (*Silurus meridionalis*) juveniles [J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2007, **29**(6): 103-108. [成成, 谢小军, 罗毅平, 等. 饲料碳水化合物水平对南方鲈幼鱼肝脏、胰脏和肾脏的组织学影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2007, **29**(6): 103-108.]

THE SUITABLE STARCH TYPES AND LEVELS IN THE DIET OF BROWN TROUT (*SALMO TRUTTA*) JUVENILES

DANG Jiang-Yu^{1,2,3}, GAO Bo-Wei^{1,2,3}, XU Zhen^{1,2,3}, YANG Hang^{1,2,3}, LI Xiao-Qin^{1,2,3} and LENG Xiang-Jun^{1,2,3}

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Centre for Research on Environmental Ecology and Fish Nutrition (CREEFN) of the Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: To investigate the effects of starch on the growth, feed utilization, digestive enzyme activity, liver biochemical indexes and liver histology of brown trout juveniles, six isonitrogenous and isolipidic diets were formulated with corn starch and cassava starch at three levels of 5%, 10% and 15%, respectively, to feed brown trout juveniles with an initial body weight of (0.50±0.03) g for 84 days. The results indicated that the weight gain rate (*WGR*) first increased and then decreased, while the feed coefficient ratio (*FCR*) showed an opposite trend with the increasing dietary starch level ($P<0.05$). The 10% cassava starch group had the highest *WGR* (518.8%) and the lowest *FCR* (1.32). There were no significant differences in the survival, viscera-body ratio, condition factor, and body composition among the groups ($P>0.05$). The crude protein retention decreased with the increasing starch level, and the 15% starch group had significantly lower values than that of the other groups ($P<0.05$). While the lipid retention first increased and then decreased with the increasing dietary starch level, and the 10% cassava starch group showed significantly higher lipid retention than that of the 10% corn starch group ($P<0.05$). The starch types and levels did not significantly affect the activities of pepsin, gastric amylase, liver alanine aminotransferase, liver aspartate aminotransferase, and the contents of total cholesterol and triglycerides in liver ($P>0.05$), while the activities of intestinal amylase and protease in 15% starch group were significantly higher than those in other groups ($P<0.05$). The 15% starch groups showed significantly higher liver glycogen content and more nucleus shift and cell vacuolation than the other groups. In conclusion, the suitable diet for brown trout juveniles was suggested to be 10% cassava starch under the experimental conditions.

Key words: *Salmo trutta*; Corn starch; Cassava starch; Growth; Digestive enzymes; Hepatic histology