

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16265

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

褚志鹏^{1,2}, 危起伟^{1,2,3,4}, 杜浩², 刘伟², 张磊^{2,3}, 颌江^{2,3}, 邸军^{2,4}

1. 南京农业大学 无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081;
2. 中国水产科学研究院 长江水产研究所, 湖北 武汉 430223;
3. 华中农业大学 水产学院, 湖北 武汉 430070;
4. 西南大学 生命科学学院, 重庆 400715

摘要: 分别以糊精、小麦淀粉、玉米淀粉、 α -淀粉(预糊化玉米淀粉)、蔗糖、葡萄糖为糖源, 配制 6 种等氮等能的半纯化饲料, 喂养达氏鲟(*Acipenser dabryanus*)幼鱼(68.05 ± 1.63 g)8 周, 研究饲料中糖源对达氏鲟幼鱼生长性能、体成分及生理生化指标的影响。结果发现糊精、小麦淀粉、玉米淀粉、 α -淀粉组实验鱼饲料效率和蛋白质效率显著高于蔗糖和葡萄糖组($P < 0.05$), 玉米淀粉组实验鱼增重率、特定生长率和饲料效率最高。不同糖源对达氏鲟肥满度影响不显著($P > 0.05$), 而对肝体比和脏体比均影响显著($P < 0.05$)。肝体比和脏体比最高的为葡萄糖组, 最低的为小麦淀粉组。小麦淀粉组全鱼、肌肉和肝中粗蛋白含量最高, 葡萄糖组全鱼和肌肉的粗蛋白含量最低且均显著低于其他各组($P < 0.05$)。糊精、蔗糖和葡萄糖组全鱼和肌肉粗脂肪显著高于其他各组($P < 0.05$)。 α -淀粉组肝糖原显著高于其他各组($P < 0.05$), α -淀粉组和葡萄糖组肌糖原显著高于其他各组($P < 0.05$)。肝和血液中甘油三酯和总胆固醇含量和肌体和血液中糖水平呈正相关。不同糖源对达氏鲟消化道消化酶和肝丙酮酸激酶、磷酸烯醇式丙酮酸激酶活性影响显著($P < 0.05$), 对肝己糖激酶、磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶活性影响不显著($P > 0.05$)。研究表明, 在饲料中添加玉米淀粉作为糖源更有利于达氏鲟幼鱼生长。

关键词: 达氏鲟; 糖源; 生长性能; 生理生化指标; 幼鱼

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)02-0284-11

达氏鲟(*Acipenser dabryanus*)是中国大陆特有的纯淡水定居性珍稀鱼类, 主要分布于长江上游干支流及长江中游。近年来, 由于葛洲坝工程的兴建以及过度捕捞、水环境污染等一系列原因, 达氏鲟的资源极为稀少, 被列为国家一级保护动物^[1-4]。开展达氏鲟的人工养殖, 实现物种繁育增殖是达氏鲟保护的重要手段。目前为止, 关于达氏鲟的研究主要有种群生态^[1-2]、人工繁殖^[1, 5]、早期发育^[6]、分子遗传^[7]等方面。而有关达氏鲟营养研究的报道仅见不同开口饵料对达氏鲟鱼苗生长的研究^[8], 达氏鲟幼鱼对饲料中蛋白需求量的研究^[9]。

糖类是三大营养物质中最廉价的一种, 已有研究表明在饲料中添加适量的糖可以起到降低成

本和节约蛋白的作用, 相比陆生动物来说鱼类对于糖的利用能力低, 而不同的鱼类对于糖的利用能力也有差别, 草食性和杂食性鱼类对于糖的利用能力比肉食性鱼类要高^[10-11]。另有研究表明鱼类对于不同分子量的糖类利用能力也有不同, Hung 等^[12]用添加不同糖类的饲料投喂高首鲟(*Acipenser transmontanus*), 结果表明高首鲟对于小分子糖的利用能力要高于大分子糖; 而 Deng 等^[13]的研究结果与之相反。目前为止, 有关达氏鲟饲料中糖源的研究暂未见报道。

达氏鲟具有生长快, 抗病力强的特点, 针对达氏鲟营养需求进行研究, 加紧开展达氏鲟饲料的研发可以作为保护达氏鲟种质资源的一种方法

收稿日期: 2016-09-06; 修订日期: 2016-10-18.

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203086); 国家 973 计划项目(2015CB150702).

作者简介: 褚志鹏(1991-), 男, 硕士研究生, 专业方向为鱼类营养学. E-mail: chuzhipengst@126.com

通信作者: 危起伟, 研究员. E-mail: weiqw@yfi.ac.cn

和手段,也可以为未来达氏鲢规模化增养殖专用饲料的研发奠定基础。本研究采用 6 种不同糖源的饲料饲养达氏鲢,并基于其生长性能和生理生化指标的分析,筛选出适合于达氏鲢幼鱼生长发育的糖源,以期为达氏鲢的养殖理论提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

根据糖的基本分类并参考国内外针对鱼类对不同糖类利用的研究以糊精、小麦淀粉、玉米淀粉、 α -淀粉(预糊化玉米淀粉)、蔗糖、葡萄糖为糖源,鱼粉、酪蛋白、明胶为蛋白源,鱼油为脂肪源,配制 6 种等氮等能的半纯化饲料。将饲料原料粉碎后经 60 目分级筛,按照配方精准称重混匀,用

绞肉机制成直径为 2 mm 的短条状饲料,用电风扇吹干(水分约为 10%),最后用破碎机破碎为颗粒饲料,将饲料放置-20℃冰柜中冷冻备用。表 1 为实验饲料组成及营养水平。

1.2 实验鱼及饲养管理

实验鱼是中国水产科学院长江水产研究所荆州太湖中华鲢繁育基地提供的当年繁殖的达氏鲢子二代幼鱼。实验开始前将达氏鲢幼鱼放至直径 1.05 m,高 0.5 m 的圆柱形养殖桶驯化 2 周。实验鱼驯化结束后,停止投喂,在饥饿 24 h 后挑选规格一致、体格健壮的个体(初始体重为 68.05 g $\pm$ 1.63 g),将实验鱼按照实验饲料分为 6 组,每组 3 个重复,每个重复 24 尾鱼放至养殖桶内,流水养殖,进水速度 2 L/min。采取表观饱食投喂,每天

表 1 实验饲料组成及营养水平
Tab. 1 Composition and nutrient levels of experimental diets % , DM

项目 item	糖源 carbohydrate source					
	糊精 dextrin	小麦淀粉 wheat starch	玉米淀粉 corn starch	α -淀粉 α -starch	蔗糖 saccharose	葡萄糖 glucose
原料 ingredient						
鱼粉 fish meal	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
酪蛋白 casein	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
明胶 gelatin	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
鱼油 fish oil	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
微晶纤维素 microcrystalline cellulose	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
氯化胆碱 choline chloride	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
维生素预混料 ¹⁾ vitamin premix ¹⁾	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
矿物质预混料 ²⁾ mineral premix ²⁾	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
羧甲基纤维素钠 CMC-Na	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
糖 carbohydrate	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
合计 total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 nutrient level						
干物质 dry matter	90.3	90.52	90.34	90.78	90.27	89.79
粗蛋白质 crude protein	42.84	42.75	42.01	42.28	42.16	42.71
粗脂肪 crude lipid	8.19	8.28	8.21	8.29	8.14	8.31
灰分 ash	8.90	8.85	8.94	8.82	8.94	8.94
总能 gross energy/(MJ/kg)	19.23	19.12	19.48	19.55	19.82	20.17

注: 1) 维生素预混料(mg/kg 饲料 或 IU/kg 饲料): 维生素 E, 100; 维生素 K₃, 40; 维生素 A, 5000 IU; 维生素 D, 2000 IU; 维生素 B₁, 50; 维生素 B₂, 200; 维生素 B₆, 50; 维生素 B₁₂, 0.5; 维生素 C, 325; 烟酸, 175; 叶酸, 5; 肌醇, 1000; 生物素, 2.5; 泛酸钙, 50。
2) 矿物质盐预混料(mg/kg 饲料): NaCl, 5000; Ca(H₂PO₄)₂, 15000; FeSO₄·7H₂O, 1000; ZnSO₄·7H₂O, 350 ;MnSO₄·4H₂O, 40; CuSO₄·5H₂O, 12; CoCl₂·6H₂O, 80; KIO₃, 5。
Note:1) vitamin premix (mg/kg diet or IU/kg diet): vitamin E, 100; vitamin K₃, 40; vitamin A, 5000 IU; vitamin D, 2000 IU; vitamin B₁, 50; vitamin B₂, 200; vitamin B₆, 50; vitamin B₁₂, 0.5; vitamin C, 325; nicotinic acid, 175; folic acid, 5; inositol, 1000; biotin, 2.5; calcium pantothenat, 50. 2) mineral premix (mg/kg diet): NaCl, 5000; Ca(H₂PO₄)₂, 15000; FeSO₄·7H₂O, 1000; ZnSO₄·7H₂O, 350; MnSO₄·4H₂O, 40; CuSO₄·5H₂O, 12; CoCl₂·6H₂O, 80; KIO₃, 5.

定时投喂 3 次(8:00, 14:00, 20:00)。投喂 1 h 后清污, 收集残饵并记录投喂量、死鱼数量。参考国内外关于鲟的糖类营养研究^[12-13, 18, 20, 39]将实验周期定为 8 周, 每 2 周称重 1 次, 根据实际体重及摄食情况调整投喂量。实验用水为充分曝气并沉淀过滤的地下水, 养殖期间水温为 $(18.0 \pm 2.0)^\circ\text{C}$, 溶氧为 (7.6 ± 0.6) mg/L, 氨氮小于 0.05 mg/L, pH 为 (7.4 ± 0.2) 。

1.3 方法

养殖实验结束时, 在鱼体饥饿 24 h 后, 每个实验组随机挑选 30 尾鱼测量体长并称重, 用以计算肥满度。另每个实验组随机挑选 12 尾鱼用 MSS-222 麻醉后, 对其中 9 尾鱼进行尾静脉采血, 3500 r/min 离心 10 min 后取血清放至 -80°C 冰箱备测血清生化指标。取内脏和肝称重, 用以计算脏体比及肝体比, 并将肝、胃、肠道进行分离后放置于 2 mL 离心管放至 -80°C 冰箱, 用以检测各项酶活指标。取肝组织和背肌保存, 用以测定肝成分、肌成分、肝糖原和肌糖原。另 3 尾鱼用于全鱼体成分的测定。

饲料、全鱼、肝及肌肉的水分、粗蛋白质、粗脂肪和灰分含量分别采用 105°C 干燥法(GB/T 5009.3-2003)、凯氏定氮法(GB/T 5009.3-2003)、索氏抽提法(GB/T 5009.6-2003)、 550°C 灼烧法测定(GB/T 5009.4-2003)。饲料中能量用氧氮式热量仪(SDACM-4000, 湖南三德科技股份有限公司)进行测定。血清生化指标采用 Sysmex 全自动生化分析仪(Chemix-800)测定。肝糖原、肌糖原、谷丙转氨酶、谷草转氨酶、甘油三酯、总胆固醇、胃蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶、己糖激酶、丙酮酸激酶、磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶、磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶均采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒进行测定。

1.4 计算公式及数据处理

本研究中各参数的计算按以下公式进行:

$$\text{增重率(WGR, \%)} = (W_t - W_0) / W_0 \times 100$$

$$\text{成活率(SR, \%)} = N_t / N_0 \times 100$$

$$\text{特定生长率(SGR, \% / d)} = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100$$

$$\text{蛋白质效率(PER, \%)} = (W_t - W_0) / I_N \times 100$$

$$\text{饲料效率(FE, \%)} = (W_t - W_0) / I_T \times 100$$

$$\text{脏体指数(VIS, \%)} = W_v / W \times 100$$

$$\text{肝体指数(HIS, \%)} = W_h / W \times 100$$

$$\text{肥满度(CF)} = W / L^3 \times 100$$

式中, W_t 代表末体重(g), W_0 代表初体重(g), N_0 代表实验初鱼尾数, N_t 代表实验末鱼尾数, t 为实验天数(d), I_N 代表摄氏蛋白质干重(g), I_T 代表总摄氏饲料干重(g), W_v 代表鱼体内脏重量(g), W_h 代表鱼体肝重量(g), W 代表鱼体体重(g), L 代表鱼体体长(cm)。

所有数据经 Excel 2007 初步整理后, 采用 SPSS 20.0 对数据进行单因素方差分析, 采用 Duncan 氏多重比较分析组间的差异显著性, 显著水平定为 $P < 0.05$ 。实验数据用平均值 $\pm$ 标准误($\bar{x} \pm \text{SE}$)表示。

2 结果与分析

2.1 不同糖源对达氏鲟幼鱼生长性能和饲料利用效率的影响

经过 8 周的饲养后, 发现不同糖源对达氏鲟幼鱼成活率影响不显著($P > 0.05$)。玉米淀粉组实验鱼的增重率、特定生长率和饲料效率最高(表 2), 葡萄糖组实验鱼增重率和特定生长率显著低于其他各组($P < 0.05$)。多糖组实验鱼饲料效率和蛋白质效率显著高于双糖组和单糖组($P < 0.05$)。

2.2 不同糖源对达氏鲟幼鱼形态学指标的影响

不同糖源对达氏鲟肥满度无显著影响($P > 0.05$)(表 3), 而对肝体比和脏体比均有显著影响($P < 0.05$)。其中葡萄糖组实验鱼的肝体比和脏体比均显著高于其他各组($P < 0.05$), 小麦淀粉、玉米淀粉、蔗糖组实验鱼的肝体比显著低于其他各组($P < 0.05$), 而小麦淀粉组实验鱼的脏体比显著低于 α -淀粉和葡萄糖组($P < 0.05$), 但与其他组差异不显著($P > 0.05$)。

2.3 不同糖源对达氏鲟幼鱼体成分、肌成分、肝成分的影响

由表 4 可知, 不同糖源对达氏鲟全鱼、肌肉、肝的水分和肌肉的灰分含量影响均不显著($P > 0.05$), 而对于全鱼、肌肉、肝的粗蛋白、粗脂肪和全鱼灰分含量均有显著影响($P < 0.05$), 其中 6 个实验组中肌肉粗脂肪和肝粗蛋白含量均有显著差异($P < 0.05$)。小麦淀粉组全鱼、肌肉和肝中粗蛋

表 2 不同糖源对达氏鲟幼鱼生长性能和饲料利用效率的影响

Tab. 2 Effects of different carbohydrate sources on growth performance and feed efficiency of juvenil *Acipenser dabryanus*
n=9; $\bar{x} \pm \text{SE}$

糖源 carbohydrate source	成活率 SR/%	增重率 WGR/%	特定生长率 SGR/(%·d ⁻¹)	饲料效率 FE/%	蛋白质效率 PER/%
糊精 dextrin	100.00±0.00	193.60±5.38 ^a	1.92±0.08 ^a	63.65±4.09 ^a	148.62±5.51 ^a
小麦淀粉 wheat starch	98.48±1.52	188.99±3.80 ^a	1.89±0.06 ^a	58.60±0.52 ^a	136.9±0.73 ^a
玉米淀粉 corn starch	100.00±0.00	206.28±3.13 ^a	2.00±0.05 ^a	66.65±3.73 ^a	158.33±5.13 ^a
α-淀粉 α-starch	100.00±0.00	200.91±2.48 ^a	1.96±0.04 ^a	64.72±15.27 ^a	152.8±20.85 ^a
蔗糖 saccharose	98.48±1.52	182.05±4.38 ^a	1.85±0.07 ^a	46.25±3.28 ^b	109.4±4.50 ^b
葡萄糖 glucose	96.97±1.52	92.66±2.71 ^b	1.18±0.07 ^b	45.46±1.13 ^b	106.41±1.53 ^b

注: 同列不同糖源组数据肩标不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$); 肩标无字母或小写字母相同表示差异不显著($P>0.05$).

Note: Different small letter superscripts in the same column of different carbohydrate source group indicate significant difference ($P<0.05$), while with no or the same small letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$).

表 3 不同糖源对达氏鲟幼鱼形态学指标的影响

Tab. 3 Effects of different carbohydrate sources on morphological indices of juvenil *Acipenser dabryanus*
n=9; $\bar{x} \pm \text{SE}$

糖源 carbohydrate source	肥满度 CF	肝体比 HIS/%	脏体比 VIS/%
糊精 dextrin	0.69±0.02	2.41±0.17 ^b	6.79±0.37 ^{bc}
小麦淀粉 wheat starch	0.68±0.01	1.42±0.11 ^c	6.41±0.40 ^c
玉米淀粉 corn starch	0.70±0.02	1.64±0.08 ^c	6.71±0.30 ^{bc}
α-淀粉 α-starch	0.69±0.02	2.32±0.11 ^b	7.42±0.23 ^b
蔗糖 saccharose	0.70±0.02	1.58±0.08 ^c	6.96±0.26 ^{bc}
葡萄糖 glucose	0.67±0.02	2.99±0.02 ^a	8.79±0.22 ^a

注: 同列不同糖源组数据肩标不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$), 肩标无字母或小写字母相同表示差异不显著($P>0.05$).

Note: Different small letter superscripts in the same column of different carbohydrate source group indicate significant difference ($P<0.05$), while with no or the same small letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$).

表 4 不同糖源对达氏鲟幼鱼全鱼成分、肌成分、肝成分的影响

Tab. 4 Effects of different carbohydrate sources on compositions of whole body, muscle and hepar in juvenil *Acipenser dabryanus*
n=9; $\bar{x} \pm \text{SE}$

项目 item	糊精 dextrin	小麦淀粉 wheat starch	玉米淀粉 corn starch	α-淀粉 α-starch	蔗糖 saccharose	葡萄糖 glucose
全鱼/% whole body						
水分 moisture	80.54±0.10	81.37±0.13	81.02±0.58	80.96±1.11	80.69±0.30	80.90±0.43
粗蛋白 crude protein	11.62±0.08 ^{bc}	12.10±0.13 ^a	11.48±0.04 ^c	11.92±0.06 ^{ab}	11.91±0.13 ^{ab}	10.47±0.18 ^d
粗脂肪 crude lipid	4.38±0.08 ^b	3.23±0.06 ^d	3.61±0.02 ^c	3.50±0.01 ^{cd}	4.14±0.11 ^b	4.96±0.11 ^a
灰分 ash	2.19±0.10 ^a	2.22±0.34 ^a	2.27±0.16 ^a	1.96±0.30 ^b	2.27±0.05 ^a	2.14±0.25 ^a
肌肉/% muscle						
水分 moisture	79.86±0.35	81.28±0.61	80.96±0.15	80.82±0.78	81.10±0.87	80.24±0.89
粗蛋白 crude protein	14.68±0.05 ^b	15.25±0.12 ^a	15.13±0.08 ^a	15.07±0.02 ^a	14.70±0.07 ^b	12.74±0.03 ^c
粗脂肪 crude lipid	3.84±0.07 ^b	2.72±0.09 ^d	2.48±0.02 ^c	2.46±0.07 ^f	3.98±0.02 ^a	3.58±0.02 ^c
灰分 ash	0.10±0.00	0.10±0.01	0.10±0.01	0.10±0.01	0.10±0.01	0.10±0.04
肌糖原/(mg·g ⁻¹)	1.46±0.07 ^b	0.73±0.02 ^c	1.38±0.10 ^b	3.16±0.32 ^a	1.16±0.07 ^{bc}	3.35±0.30 ^a
肌肉 glycogen						
肝/% hepar						
水分 moisture	69.06±0.53	71.18±1.94	70.31±0.24	72.43±0.28	69.43±1.62	71.12±0.86
粗蛋白 crude protein	8.95±0.07 ^c	13.07±0.19 ^a	12.69±0.19 ^a	9.51±0.05 ^d	11.42±0.10 ^b	9.98±0.07 ^c
粗脂肪 crude lipid	10.41±0.27 ^d	12.03±0.63 ^{bc}	12.90±0.17 ^{ab}	10.57±0.16 ^d	13.76±0.28 ^a	11.29±0.08 ^{cd}
肝糖原/(mg·g ⁻¹)	53.0±3.61 ^b	16.8±0.10 ^d	20.9±2.26 ^d	61.7±2.99 ^a	15.6±1.64 ^d	40.9±2.98 ^c
肝 glycogen						

注: 同行不同糖源组数据肩标不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$), 肩标无字母或小写字母相同表示差异不显著($P>0.05$).

Note: Different small letter superscripts in the same line of different carbohydrate source group indicate significant difference ($P<0.05$), while with no or the same small letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$).

白含量最高,玉米淀粉组也表现出较高的粗蛋白含量;葡萄糖组全鱼和肌肉的粗蛋白含量最低且均显著低于其他各组($P<0.05$)。全鱼和肌肉粗脂肪含量最高的 3 组均为糊精、蔗糖和葡萄糖组且显著高于其他各组($P<0.05$);肝中蔗糖组粗脂肪含量显著高于其他各组($P<0.05$)。 α -淀粉全鱼粗灰分含量显著低于其他各组($P<0.05$)。不同糖源对达氏鲟肝糖原和肌糖原含量影响显著($P<0.05$)。其中肝糖原含量最高的为 α -淀粉和糊精组, α -淀粉组肝糖原含量约为最低的蔗糖和小麦淀粉组的 4 倍。葡萄糖和 α -淀粉组肌糖原含量显著高于其他各组($P<0.05$),小麦淀粉和蔗糖组仍最低。

2.4 不同糖源对达氏鲟幼鱼肝指标的影响

由表 5 可知,葡萄糖组实验鱼肝谷丙转氨酶、甘油三酯和 α -淀粉组实验鱼谷草转氨酶、总胆固醇含量最高并显著高于其他各组($P<0.05$)。蔗糖和葡萄糖组实验鱼肝谷草转氨酶含量最低且显著低于其他各组($P<0.05$)。玉米淀粉组实验鱼肝甘油三酯和总胆固醇含量均最低。

2.5 不同糖源对达氏鲟幼鱼血清指标的影响

在达氏鲟血清指标中,葡萄糖组实验鱼血清中葡萄糖、甘油三酯、总胆固醇含量最高,其中甘油三酯和总胆固醇含量显著高于其他各组($P<0.05$),小麦淀粉组则最低(表 6)。

2.6 不同糖源对达氏鲟幼鱼胃和肠道消化酶的影响

由表 7 可知,不同糖源对达氏鲟胃和肠道消化酶活性均有显著影响($P<0.05$)。其中小麦淀粉组实验鱼胃蛋白酶活性最高而肠脂肪酶和肠淀粉酶则最低。葡萄糖组实验鱼胃蛋白酶活性最低;糊精组实验鱼肠脂肪酶活性最高并显著高于小麦淀粉、蔗糖和葡萄糖组($P<0.05$);肠淀粉酶活性最高的是 α -淀粉和糊精组,并显著高于葡萄糖和小麦淀粉组($P<0.05$)。

2.7 不同糖源对达氏鲟幼鱼肝糖代谢关键酶活性的影响

由表 8 可知,不同糖源对达氏鲟肝丙酮酸激酶、磷酸烯醇式丙酮酸激酶活性均有显著影响

表 5 不同糖源对达氏鲟幼鱼肝指标的影响

Tab. 5 Effects of different carbohydrate sources on hepatic indexes of juvenil *Acipenser dabryanus* $n=9$; $\bar{x} \pm SE$

糖源 carbohydrate source	谷丙转氨酶 AST/(U·g ⁻¹)	谷草转氨酶 ALT/(U·g ⁻¹)	甘油三酯 TG/(mmol·g ⁻¹)	总胆固醇 T-CHO/(mmol·g ⁻¹)
糊精 dextrin	80.28±2.78 ^d	63.06±3.83 ^{ab}	0.28±0.01 ^c	0.06±0.01 ^{bc}
小麦淀粉 wheat starch	98.72±4.02 ^c	57.54±1.22 ^a	0.26±0.02 ^c	0.05±0.00 ^c
玉米淀粉 corn starch	123.97±8.33 ^b	71.87±4.83 ^a	0.25±0.01 ^c	0.04±0.01 ^c
α -淀粉 α -starch	104.51±3.93 ^c	73.61±7.33 ^a	0.33±0.03 ^{bc}	0.11±0.01 ^a
蔗糖 saccharose	106.5±4.39 ^c	52.16±9.4 ^b	0.36±0.03 ^{ab}	0.08±0.01 ^b
葡萄糖 glucose	142.78±5.69 ^a	47.48±3.16 ^b	0.43±0.01 ^a	0.09±0.01 ^b

注:同列不同糖源组数据肩标不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$),肩标无字母或小写字母相同表示差异不显著($P>0.05$)。
Note: Different letter superscripts in the same column of different carbohydrate source group indicate significant difference ($P<0.05$), while with no or the same small letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$).

表 6 不同糖源对达氏鲟幼鱼血清指标的影响

Tab. 6 Effects of different carbohydrate sources on serum indexes of juvenil *Acipenser dabryanus* $n=9$; $\bar{x} \pm SE$; mmol·L⁻¹

糖源 carbohydrate source	葡萄糖 glucose	甘油三酯 TG	总胆固醇 T-CHO
糊精 dextrin	3.28±0.10 ^a	3.63±0.20 ^{bc}	1.18±0.05 ^b
小麦淀粉 wheat starch	2.48±0.13 ^c	3.31±0.09 ^c	0.92±0.07 ^b
玉米淀粉 corn starch	1.97±0.08 ^d	3.61±0.21 ^{bc}	1.00±0.06 ^b
α -淀粉 α -starch	2.85±0.09 ^b	4.04±0.17 ^b	1.17±0.06 ^b
蔗糖 saccharose	2.53±0.15 ^{bc}	3.55±0.16 ^{bc}	1.12±0.08 ^b
葡萄糖 glucose	3.49±0.12 ^a	4.70±0.37 ^a	1.91±0.19 ^a

注:同列不同糖源组数据肩标不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$),肩标无字母或小写字母相同表示差异不显著($P>0.05$)。
Note: Different small letter superscripts in the same column of different carbohydrate source group indicate significant difference ($P<0.05$), while with no or the same small letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$).

表 7 不同糖源对达氏鲟幼鱼胃和肠道消化酶活性的影响

Tab. 7 Effects of different carbohydrate sources on digestive enzyme activities in stomach and intestinal of juvenil *Acipenser dabryanus*
n=9; $\bar{x} \pm SE$

糖源 carbohydrate source	胃蛋白酶 pepsin/(U·mg ⁻¹)	肠脂肪酶 intestinal amylase/(U·g ⁻¹)	肠淀粉酶 intestinal lipase/(U·g ⁻¹)
糊精 dextrin	0.81±0.05 ^b	14.51±0.72 ^a	196.52±13.10 ^a
小麦淀粉 wheat starch	1.00±0.05 ^a	8.91±0.32 ^c	156.81±8.05 ^b
玉米淀粉 corn starch	0.87±0.02 ^{ab}	12.76±1.07 ^{ab}	187.97±15.91 ^{ab}
α-淀粉 α-starch	0.99±0.08 ^a	12.20±1.35 ^{ab}	214.07±13.44 ^a
蔗糖 saccharose	0.83±0.02 ^b	9.66±0.61 ^c	174.87±9.28 ^{ab}
葡萄糖 glucose	0.73±0.05 ^b	10.17±0.64 ^{bc}	157.40±10.89 ^b

注: 同列不同糖源组数据肩标不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$), 肩标无字母或小写字母相同表示差异不显著($P>0.05$).
Note: Different small letter superscripts in the same column of different carbohydrate source group indicate significant difference ($P<0.05$), while with no or the same small letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$).

表 8 不同糖源对达氏鲟幼鱼肝糖代谢关键酶活性的影响

Tab. 8 Effects of different carbohydrate sources on hepatic carbohydrate metabolic key enzyme activities of juvenil *Acipenser dabryanus*
n=9; $\bar{x} \pm SE$

糖源 carbohydrate source	己糖激酶 HK/(U·g ⁻¹)	丙酮酸激酶 PK/(U·g ⁻¹)	磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶 PEPCK/(U·mg ⁻¹)	磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶 PEPC/(U·mg ⁻¹)
糊精 dextrin	44.57±8.69	18.53±1.99 ^a	8.54±1.09 ^b	8.26±1.34
小麦淀粉 wheat starch	33.01±4.76	16.94±1.92 ^a	10.22±0.69 ^a	7.63±1.53
玉米淀粉 corn starch	50.31±10.53	16.32±1.71 ^{ab}	9.83±1.78 ^{ab}	7.98±1.02
α-淀粉 α-starch	51.63±8.50	18.62±0.93 ^a	7.26±1.06 ^c	8.47±1.63
蔗糖 saccharose	46.26±8.47	11.60±1.75 ^b	9.20±1.09 ^b	8.05±2.31
葡萄糖 glucose	36.15±6.48	11.71±1.95 ^b	8.37±1.30 ^b	8.03±1.87

注: 同列不同糖源组数据肩标不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$), 肩标无字母或小写字母相同表示差异不显著($P>0.05$).
Note: Different small letter superscripts in the same column of different carbohydrate source group indicate significant difference ($P<0.05$), while with no or the same small letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$).

($P<0.05$), 而对肝己糖激酶、磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶活性影响不显著($P>0.05$)。α-淀粉组实验鱼肝己糖激酶、丙酮酸激酶活性最高而磷酸烯醇式丙酮酸激酶活性最低。小麦淀粉组实验鱼肝己糖激酶、蔗糖组肝丙酮酸激酶和磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶活性最低, 而小麦淀粉组实验鱼肝磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶则表现出最高的活性。

3 讨论

本研究的结果发现多糖组(糊精、小麦淀粉、玉米淀粉、α-淀粉)和双糖组(蔗糖)增重率和特定生长率显著高于单糖组(葡萄糖), 多糖组饲料效率和蛋白质效率显著高于双糖组和单糖组。这表明达氏鲟幼鱼对多糖的利用优于单糖,在设计达氏鲟幼鱼饲料配方时添加多糖类糖源有利于其更快更好地生长。这与鳕(*Gadus morhua*)^[14]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[15]、团头鲂(*Megalobrama*

amblycephala)^[16]、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)^[17]、中华鲟(*Acipenser sinensis*)^[18]、吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[19]和杂交鲟^[20]等研究结果相似。造成鱼类对大分子糖类的利用率高于小分子糖类的原因可能是,大分子糖被鱼类摄食后需要经过水解或磷酸解途径转化为葡萄糖后才能被吸收利用,而葡萄糖则可以被消化道直接吸收。葡萄糖吸收得过快、过多,到达血液后造成高血糖引起负生理作用,从而使鱼类不能很好地利用糖类进而导致生长性能较差^[15]。但对石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)^[21]、金头鲷(*Sparus aurata*)^[22]和草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)^[23]的研究发现其对小分子糖的利用率要高于大分子糖,这可能是不同鱼类间存在差异。

研究表明肝体比会随着饲料中糖水平的升高而增大,肝中过高的肝糖原含量是造成肝体比增大的主要原因之一^[24],除了糖水平的升高会造成

肝体比增大也有研究发现饲料中糖源的不同也会造成肝体比的差异^[16],而本研究中葡萄糖、糊精、 α -淀粉组肝体比和肝糖原的含量显著高于其他各组也证实了该观点。已有大量研究表明不同鱼类对不同糖类的利用率存在差异,本研究中不同糖源对达氏鲟全鱼、肌肉的常规营养成分的差异主要表现在粗蛋白和粗脂肪上,葡萄糖组全鱼和肌肉粗蛋白含量均最低,同时葡萄糖、糊精、蔗糖组全鱼和肌肉粗脂肪含量显著高于其他 3 组,这与中华鲟^[18]和鲫(*Carassius auratus gibelio*)^[25]的研究结果类似,而在真鲷(*Pagrosomus major*)^[26]和南方鲇(*Silurus meridionalis* Chen)^[27]的研究中发现淀粉组全鱼脂肪含量高于双糖和单糖组。葡萄糖、糊精组全鱼及肌肉粗脂肪含量偏高可能是由于鱼体肌糖原、肝糖原和血糖含量偏高促使糖酵解反应的进行,而糖酵解过程中生成的磷酸二羟丙酮可以还原为 3-磷酸甘油,它和丙酮酸彻底脱氢氧化生成的乙酰辅酶 A 都是脂肪合成的重要部分^[28]。但是在本研究有关糖酵解相关酶活性的结果中并未发现该两组代谢酶活性高于其他组,此外蔗糖组组织和血液中糖含量也没有显著高于其他组,因此有关粗脂肪含量偏高的原因还有待进一步探讨。葡萄糖组全鱼、肌肉和肝及糊精、 α -淀粉组肝粗蛋白含量偏低, Furuichi 等^[29]认为这是由于组织中葡萄糖含量偏高影响从而占据了消化道内壁大量吸收位点,从而影响鱼类对氨基酸的吸收,造成蛋白质沉积降低。根据本研究中肝糖原和肌糖原相对较低的几个实验组,在达氏鲟幼鱼养殖过程饲料中添加适量小麦淀粉、玉米淀粉、蔗糖更有利于鱼体蛋白质的沉积。

谷丙转氨酶和谷草转氨酶是目前为止研究发现的衡量肝功能的主要指标^[30],两种酶的活性过高或过低都标志着肝可能受到损伤。本研究中葡萄糖组谷丙转氨酶活性偏高而糊精组则偏低,葡萄糖和蔗糖组谷草转氨酶活性偏低。这可能是肝中糖原合成过程加重了肝负担,与研究中的肝糖原的含量升高趋势一致。与肝糖原和肌糖原的结果相似,本研究中葡萄糖、 α -淀粉和糊精组血清中葡萄糖含量也相对高于其他三组,而肝中的甘油三酯、总胆固醇含量也相对较高,其中葡萄糖组肝中甘油三酯和血清中甘油三酯、总胆固醇含

量显著高于其他各组。该结果与团头鲂^[16]、杂交鲟^[20]和瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)^[31]等研究结果相似,而在军曹鱼^[15]、吉富罗非鱼^[19]中葡萄糖和糊精组血液中甘油三酯含量偏低,但从各组结果看血糖含量高的实验组,相应地,甘油三酯含量也较高。造成甘油三酯和总胆固醇升高的原因可能是肌体和血液中糖含量较高足以满足鱼体正常生命活动所需能量,进而使丙酮酸转变的乙酰辅酶 A 在三羧酸循环中更多地走向生物合成即作为脂类合成的起始物质^[27]。

不同种类的鱼在摄食不同饲料时可以分泌调节消化酶活性^[32]。本研究中饲料不同糖源对达氏鲟胃蛋白酶、肠脂肪酶、肠淀粉酶均有显著影响。小麦淀粉和 α -淀粉组中胃蛋白酶活性最高,这与全鱼和肌肉中粗蛋白含量结果一致。糊精、玉米淀粉和 α -淀粉组肠脂肪酶和肠淀粉酶活性均高于其他各组,然而玉米淀粉和 α -淀粉组全鱼和肌肉中粗脂肪含量却低于糊精、葡萄糖组,这与本研究中肌体及血液中糖含量过高引发肝和血液中甘油三酯和总胆固醇含量升高的研究结果一致。

己糖激酶和丙酮酸激酶是糖酵解过程中两种关键酶,在鱼体肝中己糖激酶的活性要比鼠类低 1/10 左右,普遍认为,己糖激酶活性低从而限制了鱼的葡萄糖代谢的能力^[33]。本研究中玉米淀粉和 α -淀粉中己糖激酶活性相对较高,但己糖激酶活性在各组之间并未表现出显著差异,这与南方鲇^[27]和胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)^[34]的研究结果相似。王广宇等^[33]认为己糖激酶专一性差, K_m 值低,易饱和而失去活力,在鱼类中活性较低,因此改变饲料组成,己糖激酶的活性不发生变化。但在吉富罗非鱼^[19]和翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis* Bleeker)^[35]的研究中发现不同饲料对鱼肝己糖激酶有显著影响,这种差异可能是鱼的种类不同造成的。多糖组丙酮酸激酶活性显著高于双糖和单糖组,这可能是达氏鲟能够更好地利用饲料中多糖的原因之一,这与翘嘴红鲌^[35]和大黄鱼(*Larimichthys crocea* Richardson)^[36]的研究结果一致。磷酸烯醇式丙酮酸激酶是糖异生过程中的关键酶,有研究通过对大鼠投喂高糖饲料,结果表明磷酸烯醇式丙酮酸激酶活性及 mRNA 都快

速降到一个很低的水平,并增加了血糖和胰岛素水平^[37]。本研究中肌体和血液中糖含量较高的葡萄糖、糊精和 α -淀粉组对应磷酸烯醇式丙酮酸激酶活性低于其他各组,这可能是由于肌体和血液中高含量的糖使鱼体进行了负反馈调节,该结果也在胭脂鱼^[34]和翘嘴红鲌^[35]中出现。磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶是催化糖异生产生的磷酸式丙酮酸生成草酰乙酸的限速酶,在三羧酸循环的回补反应中有重要作用^[28]。上文中认为,葡萄糖、糊精和 α -淀粉组全鱼和肌肉粗脂肪含量高于其他几组可能是由于三羧酸循环中将糖类转化为脂类。但本研究中不同糖源对达氏鲟幼鱼肝磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶影响不显著,有关磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶的研究还鲜有报道,饲料中糖源种类的不同对其是否有显著影响还有待进一步讨论。

4 结论

本研究的结果表明,达氏鲟幼鱼对多糖的利用要优于双糖和单糖组,从实验鱼增重率、特定生长率、饲料效率指标来看,玉米淀粉效果最好,综合考量饲料成本及不同糖源对达氏鲟幼鱼生理生化指标的影响,建议在对达氏鲟的饲养过程中添加玉米淀粉作为饲料中的糖源。

鲟类(*Acipenseriformes*)为世界性保护物种^[38]。近十几年来,在攻克亲鱼培育、全人工繁殖、幼鱼人工饲料驯化等关键性技术前提下,中国鲟产业取得了快速发展。拉动市场需求加大人工养殖规模不仅不失为鲟资源保护与利用的重要方法,也是商业性养殖的必然趋势。在养殖的过程中探索鲟营养需求显得尤为重要,然而现有有关鲟营养需求和饲料的研究仅限于部分幼鱼和商品鱼,缺乏系统的营养资料,对单一种类的研究也不够深入、系统。通过本研究获得的结论,参照对高首鲟^[13]、中华鲟^[18]、杂交鲟^[20]、施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)^[39]等已有的研究发现多数结果表明大分子糖类更有利于鲟的生长。将该结果以及其他营养物质在今后的鲟营养研究中进行更深入系统的探讨,建立鲟营养参数的公共平台,从而为鲟饲料企业提供设计配方的科学依据,将为鲟产业更好更快地发展提供保证。

参考文献:

- [1] Yangtze Aquatic Resources Survey Group. The Biology of the Sturgeons and Paddlefish in the Yangtze River and Artificial Propagation[M]. Chengdu: Sichuan Scientific and Technical Publishing House, 1988: 284. [四川省长江水产资源调查组. 长江鲟鱼类生物学及人工繁殖[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1988: 284.]
- [2] Zhang H, Wei Q W, Du H, et al. Present status and risk for extinction of the Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*) in the Yangtze River watershed: a concern for intensified rehabilitation needs[J]. J Appl Ichthyol, 2011, 27(2): 181–185.
- [3] Zhuang P, Ke F, Wei Q W, et al. Biology and life history of Dabry's sturgeon, *Acipenser dabryanus*, in the Yangtze River[J]. Environ Biol Fish, 1996, 48(1–4): 257–264.
- [4] Le P Q, Chen Y Y. China Red Data Book of Endangered Animals: Fishes[M]. Beijing: Science Press, 1998: 170–171. [乐佩琦, 陈宜瑜. 中国濒危动物红皮书(鱼类)[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 170–171.]
- [5] Liu T. The controlled propagation of cultured second filial generation Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*) had first succeeded[J]. Fish Science and Technology Information, 2007, 34(3): 139. [刘涛. 达氏鲟子二代全人工繁殖首获成功[J]. 水产科技情报, 2007, 34(3): 139.]
- [6] Shi L L, Wei Q W, Chai Y, et al. Retina development and correlated function during Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*) ontogeny[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(5): 958–967. [史玲玲, 危起伟, 柴毅, 等. 达氏鲟视网膜早期发育及其相关机能[J]. 中国水产科学, 2013, 20(5): 958–967.]
- [7] Zhang S H, Luo H, Du H, et al. Isolation and characterization of twenty-six microsatelliteloci for the tetraploid fish Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*)[J]. Conserv Genet Resour, 2013, 5(2): 409–412.
- [8] Gong Q, Liu Y, Lai J S, et al. Effects of Initial Feeding on Growth of *Acipenser dabryanus* Dumeril[J]. Southwest China Journal of Agriculture Sciences, 2015, 28(5): 2297–2300. [龚全, 刘亚, 赖见生, 等. 不同开口饵料对达氏鲟鱼苗生长的影响[J]. 西南农业学报, 2015, 28(5): 2297–2300.]
- [9] Li Q F, Wang J, Yang Y J, et al. Study on the requirement of protein content in feed for Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*)[A]. Three Gorges area characteristic fishery development forum symposium[C]. Chongqing: [s.n.], 2012: 173–180. [李庆飞, 王京, 杨元金, 等. 达氏鲟幼鱼对饲料中蛋白需求量的研究[A]. 三峡地区特色渔业发展论坛论文集[C]. 重庆: [s.n.], 2012: 173–180.]
- [10] Wilson R P. Review: Utilization of dietary carbohydrate by fish[J]. Aquaculture, 1994, 124(1–4): 67–80.

- [11] Vielma J, Koskela J, Ruohonen K, et al. Optimal diet composition or European white fish (*Coregonus lavaretus*): carbohydrate stress and immune parameter responses[J]. *Aquaculture*, 2003, 225(1): 3–16.
- [12] Hung S S O, Fynn A, Lutes P B, et al. Ability of juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) to utilize different carbohydrate[J]. *J Nutr*, 1989, 119: 727–733.
- [13] Deng D F, Hemre G I, Storebakken T, et al. Utilization of diets with hydrolyzed potato starch, or glucose by juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*), as affected by Maillard reaction during feed processing[J]. *Aquaculture*, 2005, 248(1–4): 103–109.
- [14] Rosenlund G, Karlsen Ø, Tveit K, et al. Effect of feed composition and feeding frequency on growth, feed utilization and nutrient retention in juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua* L. [J]. *Aquacult Nutr*, 2004, 10(6): 371–378.
- [15] Cui X J, Zhou Q C, Liang H O, et al. Effects of dietary carbohydrate sources on the growth performance and hepatic carbohydrate metabolic enzyme activities of juvenile cobia (*Rachycentron canadum* Linnaeus.)[J]. *Aquac Res*, 2010, 42(1): 99–107.
- [16] Ren M C, Habte-Tsion H, Xie J, et al. Effects of dietary carbohydrate source on growth performance diet digestibility and liver glucose enzyme activity in blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*[J]. *Aquaculture*, 2015, 438: 75–81.
- [17] Cai C F, Wang Y L, Chen L Q, et al. Effects of level and source of dietary carbohydrate on growth and body composition of *Mylopharyngodon piceus* and *Carassius auratus*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2006, 13(3): 452–459. [蔡春芳, 王永玲, 陈立侨, 等. 饲料糖种类和水平对青鱼、鲫生长和体成分的影响[J]. *中国水产科学*, 2006, 13(3): 452–459.]
- [18] Zhou J. Effect of carbohydrate on the growth performance of Chinese sturgeon, *Acipenser Sinensis*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006. [周俊. 糖对中华鲟幼鱼生长影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.]
- [19] Wu B, Peng Q, Chen B, et al. The effect of different carbohydrate sources in diet on aquaculture performance and mechanism in gift Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenile[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(4): 1050–1055. [吴彬, 彭淇, 陈斌, 等. 日粮中不同糖源对吉富罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 稚鱼养殖效果与机理研究[J]. *海洋与湖泊*, 2013, 44(4): 1050–1055.]
- [20] Song J, Jiang H B, Jiang Z Q, et al. Effects of dietary carbohydrate sources on growth feed utilization and haematological parameters of juvenile hybrid sturgeon *Acipenserbaeri* ♀× *A. schrenckii* ♂[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2016, 31(1): 58–63. [宋娇, 姜海波, 姜志强, 等. 饲料中不同糖源对杂交鲟幼鱼生长性能、血清生化指标和肌肉营养成分的影响[J]. *大连海洋大学学报*, 2016, 31(1): 58–63.]
- [21] Shiau S Y, Lib Y H. Carbohydrate utilization and its protein-sparing effect in diets for grouper (*Epinephelus malabaricus*) [J]. *Anim Sci*, 2001, 73(2): 299–304.
- [22] Enes P, Panserat S, Kaushik S, et al. Growth performance and metabolic utilization of diets with native and waxy maize starch by gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles[J]. *Aquaculture*, 2008, 274(1): 101–108.
- [23] Tian L X, Liu Y J, Liu D H, et al. Effects of glucose and corn starch on growth and the fat deposition in the mesentery of grass carp[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2000, 24(5): 438–441. [田丽霞, 刘永坚, 刘栋辉, 等. 葡萄糖和玉米淀粉对草鱼生长和肠系膜脂肪沉积的影响[J]. *水产学报*, 2000, 24(5): 438–441.]
- [24] Rawles S D, Gatlin III D M. Carbohydrate utilization in striped bass (*Morone saxatilis*) and sunshine bass (*M. chrysops* ♀×*M. saxatilis* ♂)[J]. *Aquaculture*, 1998, 161(1–4): 201–212.
- [25] Tan Q, Xie S, Zhu X, et al. Effect of dietary carbohydrate sources on growth performance and utilization for gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) and Chinese longsnout catfish (*Leiostomus xanthurus* Günther)[J]. *Aquac Nutr*, 2006, 12(1): 61–70.
- [26] Furuichi M, Yone Y. Availability of carbohydrate in nutrition of carp and red seabream[J]. *Nippon Suisan Gakk*, 1982, 48(7): 945–948.
- [27] Lin X Z, Luo Y P, Xie X J. Effects of dietary carbohydrate level on glycolytic enzymes and serum glucose concentrations in the juvenile southern catfish after feeding[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(3): 304–310. [林小值, 罗毅平, 谢小军. 饲料中碳水化合物水平对南方鲇幼鱼餐后糖酵解酶活性及血糖浓度的影响[J]. *水生生物学报*, 2006, 30(3): 304–310.]
- [28] Wang J S, Wang D M, Lv S X. Biochemistry[M]. Beijing: Science Press, 2011: 214–258. [王金胜, 王冬梅, 吕淑霞. 生物化学[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 214–258.]
- [29] Furuichi M, Yone Y. Changes in activities of hepatic-enzymes related to carbohydrate metabolism of fishes in glucose and insulin-glucose tolerance-tests[J]. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 1982, 48(3): 463–466.
- [30] Gianni E G, Testa R, Savarino V. Liver enzyme alteration: A guide for clinicians[J]. *Can Med Assoc J*, 2005, 172(2): 367–379.
- [31] Zang S L. Effect of dietary carbohydrate structure, carbohydrate levels and carbohydrate to lipid ratio on growth, feed utilization, plasma glucose and glycolytic enzyme activities of juvenile Darkbarbel catfish, *Pelteobagrus vachelli*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011. [张世亮. 饲料

- 中糖结构、糖水平及糖脂比对瓦时黄颡鱼幼鱼生长及糖代谢的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.]
- [32] Moro G V, Camilo R Y, Moraes G, et al. Dietary non-protein energy sources: growth, digestive enzyme activities and nutrient utilization by the catfish *jundi á*, *Rhamdia quelen*[J]. *Aquac Res*, 2010, 41(3): 394–400.
- [33] Wang G Y, Liu B, Xie J, et al. Research progress of several carbohydrate metabolic key enzymes in fish[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2008, 17(3): 378–383. [王广宇, 刘波, 谢骏, 等. 鱼类糖代谢几种关键酶的研究进展[J]. *上海水产大学学报*, 2008, 17(3): 378–383.]
- [34] Zhang S, Jiang M, Wen H, et al. Effects of dietary carbohydrate to lipid levels on growth performance and carbohydrate metabolism of juvenile Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus*[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2014, 35(3): 1–7. [张颂, 蒋明, 文华, 等. 饲料碳、脂比例对胭脂鱼幼鱼生长及糖代谢的影响[J]. *华南农业大学学报*, 2014, 35(3): 1–7.]
- [35] 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 top-mouth 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.]
- [36] Li Y, Zhou P P, Qiu H, et al. Effects of dietary carbohydrate sources on growth performance, digestive enzyme and carbohydrate metabolic key enzyme activities of large yellow croaker (*Larmichthys crocea* Richardson)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(11): 3438–3447. [李弋, 周飘苹, 邱红, 等. 饲料中糖源对大黄鱼生长性能及消化酶、糖代谢关键酶活性的影响[J]. *动物营养学报*, 2015, 27(11): 3438–3447.]
- [37] Girard J, Perdureau D, Narkewicz M, et al. Hormonal regulation of liver phosphoenolpyruvate carboxykinase and glucokinase gene expression at weaning in the rat[J]. *Biochemistry*, 1991, 73(1): 71–76.
- [38] Xie Z M, Sun D J, Wang J S, et al. Sturgeon Breeding Technology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002. [谢忠明, 孙大江, 王京树, 等. 鲟鱼养殖技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.]
- [39] Jiang M, Liu W, Wen H. Effect of dietary carbohydrate sources on the growth performance, feed utilization, muscle composition, postprandial glycemic and glycogen response of Amur sturgeon, *Acipenser schrenckii* Brandt, 1869[J]. *J Appl Ichthyol*, 2014, 30: 1613–1619.

Effects of different carbohydrate sources on growth performance, body composition, and physiological and biochemical parameters of juvenile Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*)

CHU Zhipeng^{1,2}, WEI Qiwei^{1,2,3,4}, DU Hao², LIU Wei², ZHANG Lei^{2,3}, XIE Jiang^{2,3}, DI Jun^{2,4}

1. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China;

2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;

3. Fisheries College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

4. School of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: An 8-week feeding trial was conducted to determine the effects of different carbohydrate sources on growth performance, body composition, and physiological and biochemical parameters of juvenile Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*). Six isonitrogenous and isoenergetic semi-purified diets were prepared with dextrin, wheat starch, corn starch, α -starch, saccharose, and glucose as carbohydrate sources. Mean initial body weight of the study fish was (68.05 ± 1.63) g. The results indicated that feed efficiency and the protein efficiency ratio values of the dextrin, wheat, starch, corn starch, and α -starch groups were significantly higher than those in the saccharose and glucose groups ($P < 0.05$). Fish fed the diet containing corn starch had the highest weight gain ratio, specific growth rate, and feed efficiency. No effect of the different carbohydrate sources on condition factor was observed ($P > 0.05$). However, the hepatopankreas somatic index (HSI) and visceral somatic index (VSI) were significantly affected by the different carbohydrate sources ($P < 0.05$). The highest HSI and VSI were seen in the glucose group, whereas the lowest HSI and VSI were observed in the wheat starch group. The wheat starch group had the highest crude protein content in whole body, muscle, and liver. The glucose group had significantly lower whole-body and muscle crude protein contents than those in the other groups ($P < 0.05$). Whole-body, muscle, and crude lipid contents in the dextrin, saccharose, and glucose groups were significantly higher than those in the other groups ($P < 0.05$). Hepatic glycogen content was significantly higher in the α -starch group than that in the other groups ($P < 0.05$). Muscle glycogen contents in the α -starch and glucose groups were significantly higher than those in the other groups ($P < 0.05$). Triglyceride and total cholesterol levels in the liver and serum were positively correlated with whole-body and serum glucose contents. The different carbohydrate sources had significant effects on enzyme activities in the digestive tract and those of pyruvate kinase and phosphoenolpyruvate carboxy kinase in the liver ($P < 0.05$). However, hexokinase and phosphoenolpyruvate carboxylase activities in the liver were not significantly affected by the different dietary carbohydrate sources ($P > 0.05$). These results indicate that corn starch was the optimal carbohydrate source for juvenile Dabry's sturgeon.

Key words: *Acipenser dabryanus*; carbohydrate sources; growth performance; physiological and biochemical parameters; juvenile

Corresponding author: WEI Qiwei. E-mail: weiqw@yfi.ac.cn