

文章编号: 1674-5566(2015)04-0489-07

不同糖及糖水平对松浦镜鲤 *GH/IGF-I* 基因表达和鱼体组成的影响

李晋南, 徐奇友, 王常安, 王连生, 赵志刚, 罗 亮

(中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070)

摘要: 旨在探讨不同糖及糖水平对松浦镜鲤 *GH* (growth hormone)/*IGF-I* (Insulin-like growth factor-I) 基因表达和鱼体组成的影响。选用初始体质量 (8.30 ± 0.15) g 的松浦镜鲤 420 尾, 随机分为 4 组, 每组 3 个重复, 每个重复 35 尾鱼。分别饲喂添加 25% 和 50% 的淀粉 (LS/HS) 和葡萄糖 (LG/HG) 饲料, 实验周期为 60 d。实验结果表明: HS 组和 LS 组的 *GH* 基因表达量显著低于 LG 组 ($P < 0.05$)。HS 组的 *IGF-I* 基因表达量显著低于 LS 组和 LG 组 ($P < 0.05$)。各实验组的鱼体粗蛋白含量差异不显著 ($P > 0.05$)。HS 组的水分值显著低于其他实验组 ($P < 0.05$), 粗脂肪含量显著高于其他各组 ($P < 0.05$)。氨基酸组成结果显示, HS 组的 Leu 含量和 Cys 含量显著低于 LG 组 ($P < 0.05$), Ala 含量显著低于 LS 组和 LG 组 ($P < 0.05$), 其他各组间差异不显著 ($P > 0.05$); 其他氨基酸含量各组间差异不显著 ($P > 0.05$)。必需氨基酸总量、半必需氨基酸总量、非必需氨基酸总量和总氨基酸含量各组间差异不显著 ($P > 0.05$)。综上, 饲料中添加高水平的淀粉抑制了 *GH* 基因和 *IGF-I* 基因的表达, 同时增加了全鱼粗脂肪含量、降低了一些氨基酸的含量。

糖类物质作为三大营养物质之一, 是水产饲料中廉价的供能物质。在鱼类饲料中添加适宜水平的糖类物质可以节约蛋白质的使用, 增加 ATP 的形成, 有利于氨基酸的活化, 促进鱼体自身蛋白质的合成^[1]。更重要的是, 饲料中糖类物质的添加不仅降低水产养殖的成本, 还可以减少氮、磷等对环境的污染, 促进水产养殖业的可持续发展。但是, 研究表明, 鱼类对糖的利用能力不高, 饲料中糖水平超过一定的限度会引发鱼类抗病能力降低、生长迟缓、高死亡率等现象^[2]。而且, 鱼类对糖类物质的利用能力取决于鱼的种类、饲料中糖的水平、来源、分子结构的复杂程度和物理状态^[3]。

生长激素 (growth hormone, GH) 是一种重要的多功能内分泌激素, 对脊椎动物具有促进生

研究亮点: 首次分析不同糖及糖水平对松浦镜鲤生长轴 *GH/IGF-I* 基因和鱼体组成的影响, 揭示不同糖及糖水平通过影响 *GH/IGF-I* 基因的表达, 从而影响全鱼粗脂肪和鱼体氨基酸组成。为鱼类对糖利用的研究、鱼类糖代谢调控机理的研究奠定了理论基础。

关键词: 葡萄糖; 淀粉; *GH/IGF-I* 基因; 体成分; 氨基酸组成

中图分类号: S 917

文献标志码: A

长、性腺发育等多种生理功能^[4], 其作用是通过类胰岛素生长因子 - I (Insulin-like growth factor-I, IGF-I) 介导的。IGF-I 通过与其蛋白和受体的作用, 起着促进细胞增殖与分化、抑制细胞凋亡、调节与生殖和免疫相关激素分泌、增加蛋白质的同化作用、促进葡萄糖的吸收与利用等生理作用^[5]。同时, 动物体的营养状况又对 GH 和 IGF-I 的生理活动产生反馈性的影响, GH、IGF-I 和营养状况三者之间存在着相互调控的关系^[6-7]。

目前, 关于不同糖类或糖水平对不同种类鱼生长性能的研究已经很多^[8-11], 研究结果表明淡水鱼和温水鱼较海水鱼、冷水性鱼类对糖的利用能力强; 草食性和杂食性鱼类对糖的利用能力比肉食性鱼类强。但是缺少关于糖类物质对鱼体

收稿日期: 2014-12-29

修回日期: 2015-02-16

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-46); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (HSY201306)

作者简介: 李晋南 (1983—), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: lijinnan123@163.com

通信作者: 徐奇友, E-mail: xuqiyu@sina.com

氨基酸组成影响,以及对生长轴 *GH/IGF-I* 基因表达影响的研究报道。鲤鱼作为杂食性鱼类,对糖类物质的利用能力较强,WILSON^[12]的研究表明鲤鱼利用淀粉的能力优于葡萄糖,并且能耐受 400 g/kg 的糖类物质。王道尊^[13]的研究表明鲤鱼饲料中可消化糖的适宜水平是 40%。松浦镜鲤是黑龙江水产研究所在德国镜鲤选育系(F_4)基础上选育的新品种,具有鳞片少、生长速度快、含肉率高、肉质好等特点,有很高的经济价值。本实验以松浦镜鲤为研究对象,选用葡萄糖和淀粉两种糖源,设置 25% 低糖和 50% 高糖两个水平,研究不同糖及糖水平对松浦镜鲤体成分、氨基酸组成和 *GH/IGF-I* 基因表达的影响。

1 材料和方法

1.1 实验动物及日粮

松浦镜鲤选自中国水产科学院黑龙江水产研究所。实验组以酪蛋白和鱼粉为主要蛋白源,鱼油和豆油为脂肪源,葡萄糖和淀粉为糖源,配制糖水平为 25% 和 50% 的 4 种等氮等脂的饲料,具体饲料配方见表 1。饲料原料经粉碎按配比混合均匀,少量的组分采用逐级扩大法混合,然后用颗粒机制成 2 mm 颗粒饲料,置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存待用。

1.2 实验设计与饲料管理

实验选择规格一致的初始体质量为 (8.30 ± 0.15) g 的健康松浦镜鲤 420 尾。预饲 2 周后随机分组。实验饲料分为 4 组,分别为高淀粉组(HS)、低淀粉组(LS)、高葡萄糖组(HG)和低葡萄糖组(LG)。每组设 3 个重复,每个重复 35 尾鱼。实验周期为 60 d,每天定时投喂 4 次,每次投喂以饱食无残饵为准。实验在室内控温循环水族箱里进行,温度为 (24 ± 1) $^{\circ}\text{C}$,24 h 不间断供氧,溶氧大于 5 mg/L,每日吸污,每周换去水族箱内 2/3 水并注入已曝气的水,每日观察记录鱼摄食和死亡情况。

1.3 *GH/IGF-I* 基因的表达量检测

养殖实验结束后,各组实验鱼饥饿 24 h 后,分别喂食各组饲料 2 h 后,每组随机采 3 尾鱼,取肝脏组织,立即置于液氮中研磨。利用 Trizol 法提取肝脏组织总 RNA,利用 PrimeScript[®] RT

Master Mix (TaKaRa, Japan) 试剂盒进行反转录,反转录获得的 cDNA 保存于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$,用于 *GH/IGF-I* 基因相对表达量的检测。

根据 GenBank 上鲤鱼 *GH* 基因序列(M27000.1)和鲤鱼 *IGF-I* 基因序列(D83272.1)设计 Real-time PCR 的引物, *GH*: 5'-ATCTTCCCTCTGTCTTTCTGC-3' (F) 和 5'-AAGTCGGCCAGCTTCTCA-3' (R), *IGF-I*: 5'-AGACAGCCCAAGGACAGCA-3' (F) 和 5'-TACAGTGGAGCACATCTCTGGAA-3' (R)。本实验以 β -actin (JQ619774.1) 作为内参, β -actin: 5'-GGCAGGTCATCACCATCGG-3' (F) 和 5'-TTGGCATAACAGGCTTTACGG-3' (R)。所有引物由上海英潍捷基公司合成。

Real-time PCR 反应体系根据 SYBR Premix Ex Taq (TaKaRa, Japan) 试剂盒说明书进行,采用 ABI 7500 Real-time PCR 仪 (Applied Biosystems, USA) 进行分析。数据分析采用比较 CT 法 ($\Delta\Delta\text{CT}$)。相对表达量 = $2^{-\Delta\Delta\text{CT}} = 2^{-(\Delta\text{CT}_{\text{处理}} - \Delta\text{CT}_{\text{对照}})} = 2^{-[(\text{CT}_{\text{处理}} - \text{CT}_{\text{内参}}) - (\text{CT}_{\text{对照}} - \text{CT}_{\text{内参}})]}$, 数据取 3 次重复的平均值。

1.4 体成分测定

饲养实验 60 d 后,停食 24 h,每组随机取 9 尾鱼,用烘干法测定全鱼体水分,凯氏定氮法测定全鱼粗蛋白(总氮 $\times 6.25$),灼烧法 ($550\text{ }^{\circ}\text{C}$) 测定全鱼粗灰分,索氏抽提法测定粗脂肪。

1.5 全鱼氨基酸组成测定

每个实验组随机取 9 尾全鱼,样品前处理:采用盐酸水解法。将风干样粉碎至过 0.125 mm 网筛,称取试样 50 ~ 100 mg,置于安瓿管中,加盐酸水解,抽真空,用喷灯封口,放入 (110 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 的恒温箱中水解 22 h,将水解液转入 100 mL 容量瓶,用 NaOH 溶液中和,并定容至 100 mL,溶液过滤后用日立 L-8900 型氨基酸自动分析仪测定。由于酸水解破坏了样品中色氨酸,故色氨酸未测定。

1.6 统计分析方法

实验结果用 SPSS 20.0 软件进行单因素和双因素方差分析,进行 Duncan's 多重比较,用平均值 \pm 标准误 (Mean \pm SE) 表示结果,显著性水平 P 为 0.05。

表 1 基础饲料配方及营养组成(干重)

Tab. 1 Ingredients and approximate composition of the basal diets (air-dry basis)

%

原料 ingredients	组别 groups			
	高淀粉组 HS	低淀粉组 LS	高葡萄糖组 HG	低葡萄糖组 LG
鱼粉 fish meal	10	10	10	10
酪蛋白 casein	30	30	30	30
淀粉 starch	50	25	0	0
葡萄糖 glucose	0	0	50	25
豆粕 soybean meal	0	0	0	0
次粉 wheat flour	0	0	0	0
鱼油 fish oil	2.5	2.5	2.5	2.5
豆油 soybean oil	1.5	1.5	1.5	1.5
胆碱 choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5
磷酸二氢钙 calcium dihydrogen phosphate	2	2	2	2
磷脂 soybean lecithin	1	1	1	1
纤维素 cellulose	0	25	0	25
羧甲基纤维素钠 carboxymethylcellulose sodium	2	2	2	2
维生素预混料 vitamin premix	0.3	0.3	0.3	0.3
矿物质预混料 mineral premix	0.2	0.2	0.2	0.2
合计 total	100	100	100	100
营养水平 nutrient level				
粗蛋白 crude protein	31.97	31.895	31.97	31.895
粗脂肪 crude fat	5.76	5.71	5.66	5.66
粗灰分 crude ash	2.24	2.24	2.24	2.24

注:维生素预混料和矿物质预混料(mg/kg或IU/kg): V_A 8 000 IU, V_E 70 mg, V_{B1} 18 mg, V_{B2} 35 mg, V_{B6} 18 mg, 泛酸 60 mg, 烟酸 200 mg, 生物素 2.5 mg, V_{B12} 0.6 mg 叶酸 6 mg, 肌醇 1 000 mg, V_C 500 mg, V_{D3} 2 000 IU, V_K 7 mg, Zn 65 mg, Fe 75 mg, Cu 3.5 mg, Mn 16 mg, I 0.65 mg, Co 0.1 mg, Se 0.1 mg。

Note: Vitamin premix and mineral element premix provide (mg/kg or IU/kg diet): V_A 8 000 IU, V_E 70 mg, V_{B1} 18 mg, V_{B2} 35 mg, V_{B6} 18 mg, calcium pantothenate 60 mg, niacin 200 mg, biotin 2.5 mg, V_{B12} 0.6 mg folic acid 6 mg, inositol 1 000 mg, V_C 500 mg, V_{D3} 2 000 IU, V_K 7 mg, Zn 65 mg, Fe 75 mg, Cu 3.5 mg, Mn 16 mg, I 0.65 mg, Co 0.1 mg, Se 0.1 mg。

2 结果

2.1 GH/IGF- I 表达量分析

喂食后 2 h 肝脏中 GH 和 IGF- I 基因 mRNA 的相对表达量见图 1。LG 组的 GH 基因表达量显著高于 HS 组和 LS 组($P < 0.05$), HG 组的 GH 基因表达量显著高于 HS 组($P < 0.05$)。饲料中添加葡萄糖的实验组 GH 基因表达量显著高于饲料中添加淀粉的实验组($P < 0.05$)。但糖水平对 GH 基因表达量没有显著影响。饲料中高水平的糖含量抑制了 IGF- I 基因的表达量。HS 组的 IGF- I 基因表达量显著低于 LS 组和 LG 组($P < 0.05$); HG 组的 IGF- I 基因表达量与各组间差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 不同糖及糖水平对松浦镜鲤体成分的影响

各实验组的粗蛋白和粗灰分含量差异不显著($P > 0.05$)。HS 组的水分值显著低于其他实

验组($P < 0.05$),粗脂肪含量显著高于其他各组($P < 0.05$)。饲料中糖类型和糖水平对体成分指标不存在显著交互作用($P > 0.05$),见表 2。

2.3 不同糖及糖水平对松浦镜鲤氨基酸组成的影响

各实验组的氨基酸组成见表 3。必需氨基酸组成结果显示,HS 组的 Leu 含量显著低于 LG 组($P < 0.05$);其他必需氨基酸含量各组间差异不显著($P > 0.05$)。半必需氨基酸组成结果显示,各实验组的 His 和 Arg 含量差异不显著($P > 0.05$)。非必需氨基酸结果显示,HS 组的 Cys 含量显著低于 LG 组($P < 0.05$),Ala 含量显著低于 LS 组和 LG 组($P < 0.05$);其他非必需氨基酸含量各组间差异不显著($P > 0.05$)。必需氨基酸总量、非必需氨基酸总量和总氨基酸含量各组间差异不显著($P > 0.05$)。饲料糖类型和糖水平对氨基酸组成不存在显著的交互作用($P > 0.05$)。

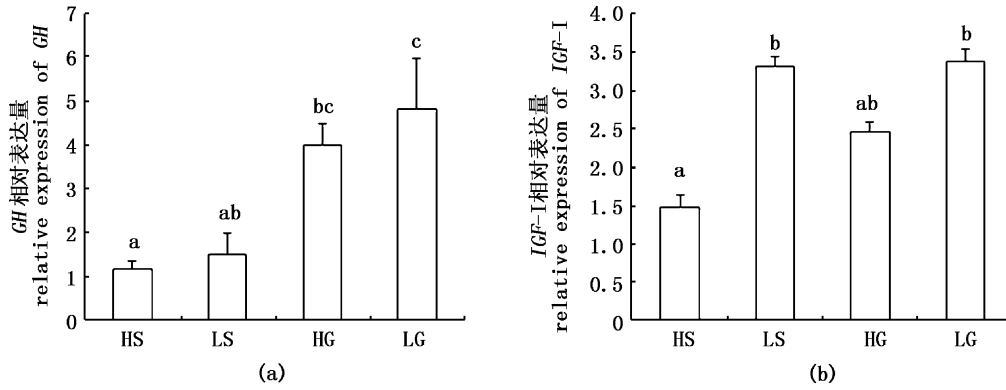


图 1 肝脏中 GH (a) 和 IGF- I (b) 基因相对表达量

Fig. 1 The GH (a) and IGF- I (b) mRNA expression levels in liver

结果以平均值 ± 标准差形式表示,柱子上不同字母表示基因相对表达量间差异显著 ($P < 0.05$),相同字母则表示差异不显著 ($P > 0.05$)。The values showed as mean ± S. D. Different letters above the bars indicate there was a significantly difference in the relative expression of gene ($P < 0.05$), while the same letters indicate there was not a significantly difference ($P > 0.05$).

表 2 不同糖及糖水平对松浦镜鲤体成分的影响

Tab. 2 Effects of dietary carbohydrates and carbohydrates levels on body composition of Songpu mirror carp

项目 items	组别 groups				two-way ANOVA		
	HS	LS	HG	LG	CL	CT	P
水分 moisture	72.12 ± 0.44 ^a	74.40 ± 0.50 ^b	74.07 ± 0.53 ^b	74.90 ± 0.27 ^b	0.008	0.025	0.145
粗蛋白 crude Protein	15.39 ± 0.09	15.42 ± 0.10	15.38 ± 0.07	15.17 ± 0.16	0.852	0.602	0.665
粗脂肪 crude fat	9.07 ± 0.37 ^b	6.87 ± 0.38 ^a	7.10 ± 0.42 ^a	6.39 ± 0.27 ^a	0.004	0.010	0.076
粗灰分 ash	3.42 ± 0.17	3.31 ± 0.08	3.46 ± 0.07	3.40 ± 0.11	0.449	0.588	0.817

注:CL 为饲料糖水平;CT 为饲料糖类型。同行无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$),不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下表同此。

Note:CL, Dietary carbohydrate levels; CT, Dietary carbohydrate types. In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$). The same as below.

表 3 不同糖及糖水平对松浦镜鲤氨基酸组成的影响

Tab. 3 Effects of dietary carbohydrates and carbohydrates levels on amino acid composition of Songpu mirror carp

项目 items	组别 groups				two-way ANOVA		
	HS	LS	HG	LG	CL	CT	P
必需氨基酸 (EAA)							
异亮氨酸 Ile	2.02 ± 0.18	2.16 ± 0.11	2.06 ± 0.15	2.25 ± 0.09	0.316	0.672	0.870
亮氨酸 Leu	3.56 ± 0.03 ^a	4.19 ± 0.15 ^{ab}	3.96 ± 0.31 ^{ab}	4.40 ± 0.18 ^b	0.040	0.194	0.659
苏氨酸 Thr	3.03 ± 0.45	2.79 ± 0.63	2.64 ± 0.28	2.93 ± 0.16	0.951	0.752	0.495
苯丙氨酸 Phe	1.46 ± 0.11	1.73 ± 0.12	1.58 ± 0.13	1.66 ± 0.03	0.149	0.831	0.434
缬氨酸 Val	2.86 ± 0.43	3.33 ± 0.26	3.11 ± 0.24	3.32 ± 0.05	0.282	0.700	0.659
蛋氨酸 Met	1.36 ± 0.17	1.65 ± 0.02	1.55 ± 0.11	1.71 ± 0.03	0.099	0.318	0.585
赖氨酸 Lys	3.74 ± 0.13	4.37 ± 0.15	4.05 ± 0.34	4.12 ± 0.19	0.187	0.909	0.290
半必需氨基酸 (HEAA)							
组氨酸 His	1.36 ± 0.20	1.55 ± 0.11	1.43 ± 0.10	1.43 ± 0.06	0.362	0.803	0.390
精氨酸 Arg	2.77 ± 0.13	2.98 ± 0.03	2.91 ± 0.20	3.23 ± 0.11	0.125	0.240	0.707
非必需氨基酸 (NEAA)							
半胱氨酸 Cys	0.91 ± 0.17 ^a	1.38 ± 0.23 ^{ab}	1.27 ± 0.14 ^{ab}	1.49 ± 0.14 ^b	0.080	0.202	0.481
甘氨酸 Gly	5.64 ± 1.12	4.33 ± 0.09	4.55 ± 0.42	4.32 ± 0.31	0.312	0.462	0.472
天冬氨酸 Asp	6.85 ± 0.32	6.93 ± 0.36	7.75 ± 0.56	7.29 ± 0.76	0.748	0.312	0.661
丝氨酸 Ser	2.29 ± 0.53	3.15 ± 0.38	3.21 ± 0.30	3.08 ± 0.27	0.463	0.401	0.335
酪氨酸 Tyr	1.13 ± 0.95	1.20 ± 0.75	1.15 ± 0.11	1.23 ± 0.04	0.327	0.668	0.978
谷氨酸 Glu	11.56 ± 0.12	11.44 ± 0.20	11.25 ± 0.28	11.92 ± 0.99	0.656	0.894	0.528
丙氨酸 Ala	3.25 ± 0.62 ^a	4.98 ± 0.13 ^b	4.29 ± 0.61 ^{ab}	5.09 ± 0.16 ^b	0.040	0.290	0.381
脯氨酸 Pro	2.41 ± 0.09	2.37 ± 0.55	2.24 ± 0.36	2.70 ± 0.21	0.503	0.778	0.429
必需氨基酸含量	18.05 ± 1.34	20.22 ± 1.37	18.96 ± 2.21	20.39 ± 0.33	0.163	0.655	0.760
半必需氨基酸含量	4.13 ± 0.16	4.53 ± 0.15	4.33 ± 0.30	4.66 ± 0.06	0.123	0.443	0.872
非必需氨基酸含量	34.04 ± 1.93	35.78 ± 1.08	35.72 ± 1.59	37.12 ± 3.06	0.472	0.801	0.922
总氨基酸含量	56.22 ± 1.44	60.53 ± 2.59	59.01 ± 2.97	62.17 ± 3.31	0.206	0.655	0.826

3 讨论

GH/IGF- I 轴是调控鱼类生长发育的关键因子之一,能够调控鱼体的生长、能量代谢、繁殖、摄食、渗透压和免疫等多种生理功能。已有报道证实 GH 处理后可以加快脊椎动物身体的生长和发育;并且通过转基因技术,进一步在哺乳动物和鱼类中证实了 GH 对生长的促进作用^[14-16]。在肝脏中,GH 的主要功能就是与 GHR 结合后刺激 IGF- I 的合成与分泌,从而促进组织的生长与分化^[17]。对于硬骨鱼类,已有研究报道血浆 GH 和 IGF- I 浓度及二者在肝脏中的 mRNA 表达量与饲料蛋白能量比、饲料必需氨基酸(IAA)和非必需氨基酸(DAA)的比例以及饲料蛋白和脂肪来源具很强的相关性^[18-21]。本实验的结果显示,淀粉组的 GH 表达量显著低于葡萄糖组,HS 组的 IGF- I 基因显著低于 LS 组和 LG 组,说明高淀粉对 GH 基因和 IGF- I 基因的表达起到了抑制作用。从特定生长率的结果看,淀粉组与低葡萄糖组的结果差异不显著^[22],说明 GH 和 IGF- I 基因虽然受到了高淀粉的抑制作用,但并未对特定生长率产生影响。研究表明,GH 可以抑制脂肪相关基因 STAT5 的表达^[23-25],从而减少脂肪的含量。因此本实验中高淀粉组的 GH 基因表达受到抑制,从而促进了脂肪相关基因的表达,致使该组全鱼粗脂肪含量显著高于其他各组。

有研究表明饮食中的碳水化合物会显著降低血浆中色氨酸与大量中性氨基酸的比值(TRP/LNAA)^[26],泌乳素和饮食中蛋白质与碳水化合物的比值可以调节哺乳期乳腺的氨基酸转运子 SNAT2 的表达^[27],这些研究说明饮食中碳水化合物的含量会影响氨基酸的组成,但目前,饲料中添加糖类物质对鱼类氨基酸组成的影响研究很少。本实验中 HS 组的亮氨酸、半胱氨酸和丙氨酸含量均显著低于 LG 组。这些氨基酸在动物体内都具有特殊的功能:亮氨酸是多种物质如蛋白质的组成成分,是生酮氨基酸,BLOMSTRAND 等认为亮氨酸起到类似胰岛素的作用,促进蛋白质的合成^[28],其代谢产物酮异己酸能够抑制糖原异生,减缓肌肉蛋白的分解^[29];半胱氨酸是非必需氨基酸,在动物体内是通过蛋氨酸和丝氨酸合成的;丙氨酸是生糖氨基酸,能协助葡萄糖代谢。有研究表明,IGF 与氨基酸的转运及氨基酸的吸

收有关^[30-31]。在本实验中,高淀粉抑制了 IGF- I 基因的表达,对这些氨基酸的含量产生了影响。必需氨基酸亮氨酸的降低一方面可能影响了其体内氨基酸的代谢通路,进而影响了非必需氨基酸半胱氨酸和丙氨酸的含量,另一方面对糖原异生作用的抑制降低,促使 HS 组的全鱼脂肪含量显著增加。

4 结论

本实验条件下,饲料中添加不同糖和糖水平对松浦镜鲤的 GH/IGF- I 基因表达量、体成分和氨基酸组成都有了显著的影响。饲料中添加高水平的淀粉抑制了 GH 基因和 IGF- I 基因的表达,同时增加了全鱼粗脂肪含量、降低了一些氨基酸的含量。

参考文献:

- [1] 谭肖英,罗智,刘永坚. 鱼类对饲料中糖的利用研究进展[J]. 中国饲料, 2006, (6): 19-23.
TAN X Y, LUO Z, LIU Y J. Review of carbohydrate utilization in fish feed[J]. China Feed, 2006, (6): 19-23.
- [2] DIXON D G, HILTON J W. Influence of available dietary carbohydrate content on tolerance of waterborne copper by rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson [J]. Journal of Fish Biology, 1981, 19(5): 509-518.
- [3] COUTO A, ENES P, PERES H, et al. Effect of water temperature and dietary starch on growth and metabolic utilization of diets in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles [J]. Comparative Biochemistry and Physiology. Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2008, 151(1): 45-50.
- [4] LE ROITH D, BONDY C, YAKAR S, et al. The somatomedin hypothesis: 2001 [J]. Endocrine Reviews, 2001, 22(1): 53-74.
- [5] JONES J I, CLEMMONS D R. Insulin-like growth factors and their binding protein; biological actions [J]. Endocrine Reviews, 1995, 16(1): 3-34.
- [6] RENAUVILLE R, HAMMADI M, PORTETELLE D. Role of the somatotrophic axis in the mammalian metabolism [J]. Domestic Animal Endocrinology, 2002, 23 (1/2): 351-360.
- [7] 陈乃松,周洁,靳利娜,等. 禁食对大口黑鲈生长和肝脏 IGF- I mRNA 表达丰度的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(4): 713-720.
CHEN N S, ZHOU J, JIN L N, et al. Effects of fasting on growth and expression abundance of IGF- I mRNA in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. Journal of

- Fishery Sciences of China, 2010, 17(4): 713-720.
- [8] ELLIS S C, REIGH R C. Effects of dietary lipid and carbohydrate levels on growth and body composition of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus* [J]. Aquaculture, 1991, 97(4): 383-394.
- [9] GARCIA-GALLEGO M, BAZOCO J, SANZ A, et al. A comparative study of the nutritive utilization of dietary carbohydrates by eel and trout [C]//KAUSHIK S J, LUQUET P. Fish Nutrition in Practice 6th International Symposium on Fish Nutrition and Feeding. COLLOQUES-INRA, 1994: 939-943.
- [10] HUTCHINS C G, RAWLES S D, GATLIN III D W. Effects of dietary carbohydrate kind and level on growth, body composition and glycemic response of juvenile sunshine bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂) [J]. Aquaculture, 1998, 161(1/4): 187-199.
- [11] TIAN L X, LIU Y J, HUNG S S O, et al. Effect of feeding strategy and carbohydrate source on carbohydrate utilization by grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. American Journal of Agriculture and Biological Sciences, 2010, 5(2): 135-142.
- [12] WILSON R P. Utilization of dietary carbohydrate by fish [J]. Aquaculture, 1994, 124(1/4): 67-80.
- [13] 王道尊. 鱼用配合饲料[M]. 北京: 农业出版社, 1995: 86-88.
WANG D Z, Compound feed for fish [M]. Beijing: Agriculture Press, 1995: 86-88.
- [14] CHEN T T, MARSH A G, SHAMBLOTT M, et al. Structure and evolution of fish growth hormone and insulin-like growth factor genes[J]. Fish Physiology, 1994, 13: 179-209.
- [15] YOWE D L, EPPING R J. Cloning of the barramundi growth hormone-encoding gene: a comparative analysis of higher and lower vertebrate GH genes[J]. Gene, 1995, 162(2): 255-259.
- [16] FORSYTH I A, WALLIS M. Growth hormone and prolactin-molecular and functional evolution [J]. Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia, 2002, 7(3): 291-312.
- [17] BECKMAN B R, SHIMIZU M, GADBERRY B A, et al. The effect of temperature change on the relations among plasma IGF-I, 41-kDa IGFBP, and growth rate in postsmolt coho salmon [J]. Aquaculture, 2004, 241(1/4): 601-619.
- [18] PÉREZ-SÁNCHEZ J, LE BAIL P Y. Growth hormone axis as marker of nutritional status and growth performance in fish [J]. Aquaculture, 1999, 177(1/4): 117-128.
- [19] GÓMEZ-REQUENI P, MINGARRO M, KIRCHNER S, et al. Effects of dietary amino acid profile on growth performance, key metabolic enzymes and somatotrophic axis responsiveness of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. Aquaculture, 2003, 220(1/4): 749-767.
- [20] GÓMEZ-REQUENIA P, MINGARROA M, CALDUCH-GINERA J A, et al. Protein growth performance, amino acid utilisation and somatotrophic axis responsiveness to fish meal replacement by plant protein sources in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. Aquaculture, 2004, 232(1/4): 493-510.
- [21] BENEDITO-PALOS L, SAERA-VILA A, CALDUCH-GINER J A, et al. Combined replacement of fish meal and oil in practical diets for fast growing juveniles of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.): Networking of systemic and local components of GH/IGF axis [J]. Aquaculture, 2007, 267(1/4): 199-212.
- [22] LI J N, XU Q Y, WANG C A, et al. Effects of dietary glucose and starch levels on the growth, haematological indices and hepatic hexokinase and glucokinase mRNA expression of juvenile mirror carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2015, doi: 10.1111/anu.12278.
- [23] RICHTER H E, ALBREKTSSEN T, BILLESTRUP N. The role of signal transducer and activator of transcription 5 in the inhibitory effects of GH on adipocyte differentiation [J]. Journal of Molecular Endocrinology, 2003, 30(2): 139-150.
- [24] HANSEN L H, MADSEN B, TEISNER B, et al. Characterization of the inhibitory effect of growth hormone on primary preadipocyte differentiation [J]. Molecular Endocrinology, 1998, 12(8): 1140-1149.
- [25] CARREL A L, ALLEN D B. Effects of growth hormone on adipose tissue [J]. Journal of Pediatric Endocrinology & Metabolism, 2000, 13(s2): 1003-1009.
- [26] WOLEVER T M S, JENKINS D J A, ANDERSON G H. Metabolic response to test meals containing different carbohydrate foods: 2. Plasma amino acid responses and amino acid ratios [J]. Nutrition Research, 1988, 8(6): 583-592.
- [27] VELÁZQUEZ-VILLEGAS L A, LÓPEZ-BARRADAS A M, TORRES N, et al. Prolactin and the dietary protein/carbohydrate ratio regulate the expression of SNAT2 amino acid transporter in the mammary gland during lactation [J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes, 2015, 1848(5): 1157-1164.
- [28] BLOMSTRAND E, ELIASSON J, KARLSSON H K R, et al. Branched-chain amino acids activate key enzymes in protein synthesis after physical exercise [J]. The Journal of Nutrition, 2006, 136(1): 269S-273S.
- [29] GRINARI J M, MCCUIRE M A, DWYER D A, et al. The Role of insulin in the regulation of milk protein synthesis in dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 1997, 80(10): 2361-2371.
- [30] FANG J, MAO D, SMITH C H, et al. IGF regulation of neutral amino acid transport in the BeWo choriocarcinoma cell line (b30 clone): Evidence for MAP kinase-dependent and MAP kinase-independent mechanisms [J]. Growth Hormone & IGF Research, 2006, 16(5/6): 318-325.
- [31] TOGAWA M, KIKKAWA R, HANEDA M, et al. Insulin-like growth factor I (IGF-I) stimulates glucose and amino

acid uptake in cultured glomerular mesangial cells [J]. 185.
Journal of Diabetic Complications, 1991, 5 (2/3) : 184 -

Effects of different dietary carbohydrates and carbohydrate levels on *GH / IGF- I* mRNA expression and the fish body composition of juvenile mirror carp (*Cyprinus carpio*)

LI Jinnan , XU Qiyou , WANG Chang'an , WANG Liansheng , ZHAO Zhigang, LUO Liang
(Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, Heilongjiang, China)

Abstract: The effects of the different dietary carbohydrates and different carbohydrate levels on *GH / IGF- I* gene expression, body composition and amino acid composition were studied in juvenile mirror carp (*Cyprinus carpio*). 420 Songpu mirror carp (mean weight = 8.30 ± 0.15g) were randomly divided into 4 dietary treatments triplicate groups and 35 fish per triplicate. The fish in 4 groups were fed two carbohydrates (starch and glucose) diets with two levels (250 g/kg and 500 g/kg) (LS/HS/LG/HG) and were reared for 60 days. Results showed that the GH mRNA expression levels of HS and LS groups were significantly lower than that of LG group ($P < 0.05$). The IGF- I mRNA expression level of HG group was significantly lower than that of LS and LG groups ($P < 0.05$). The crude protein was not significantly different among groups ($P > 0.05$). The moisture of HS group was significantly lower than that of the other groups ($P > 0.05$). The crude fat of HS group was significantly higher than that of the other groups ($P > 0.05$). The body amino acid composition results showed that Leu and Cys contents of HS group were significantly lower than those of LG group ($P < 0.05$). Ala content of HS group was significantly lower than that of LS and LG groups ($P < 0.05$). The other amino acids contents were not significantly different among groups ($P > 0.05$). The total essential amino acids, semi-essential amino acid, total non-essential amino acids and total amino acids had no significant difference among groups ($P > 0.05$). In conclusion, high dietary starch could inhibit the expression of *GH* and *IGF- I* genes, increase body crude fat content and decrease some amino acids contents.

Key words: glucose; starch; *GH/IGF- I* gene; body composition; amino acid composition