

doi: 10.7541/2015.6

摄食不同淀粉含量饲料对军曹鱼血清生化指标的影响

刘迎隆 麦康森 徐 玮 张彦娇 王 震 艾庆辉

(中国海洋大学教育部海水养殖重点实验室, 青岛 266003)

摘要: 实验旨在研究经过 10 周投喂不同淀粉含量的饲料的养殖实验后, 禁食 1d 后再投喂对 170 g 军曹鱼血清生化指标的影响。饲料以鱼粉为蛋白源, 鱼油、豆油、大豆卵磷脂为脂肪源, 分别添加 0% (对照组)、6%、12%、18%、24% 和 30% 的小麦淀粉 (以微晶纤维素调平), 养殖实验期间每天饱食投喂 2 次。结果表明, 饥饿再投喂饲料后各处理组军曹鱼血糖含量均在 (0—5) h 升高, 在 5 h 时达到峰值, 并显著高于其他时间组, 摄食 5 h 后开始下降, 7 h 时基本恢复到投喂前水平; 血清总蛋白含量在不同处理组以及同一处理组的不同时间点上均没有显著差异; 血清中甘油三酯含量在 (0—5) h 显著升高, 5 h 后其含量开始下降, 7 h 时基本恢复到投喂前水平。其中 0%、6% 和 12% 组, 摄食 5 h 后其甘油三酯含量显著高于摄食前与摄食后 7 h 和 24 h, 而在 18%、24% 和 30% 组中, 其含量无显著差异; 0% 淀粉组血清中胆固醇含量在 (0—2) h 显著升高, 2 h 时达到峰值, 在 (2—7) h 呈下降趋势, 之后趋于平稳。其他处理组都是在 (0—5) h 升高, 5 h 后开始下降, 在 7 h 时基本恢复到投喂前水平。18%—30% 组, 摄食后 5 h 血清中胆固醇含量显著高于摄食前与摄食后 24 h。军曹鱼血清中低密度脂蛋白-胆固醇在 (0—5) h 显著升高, 摄食 5 h 后其含量开始下降, 7 h 时基本恢复到投喂前水平, 但各组不同时间点间均无显著性差异。而血清中高密度脂蛋白-胆固醇含量除在 24% 添加组中, 摄食后 5 h 显著高于摄食前 (0 h) 及投喂结束后 24 h 处理组, 其他处理之间无显著差异。综上所述: 170 g 军曹鱼禁食再摄入不同含量的小麦淀粉后其血清中血糖含量先升高后降低, 随着饲料中糖添加量的增加, 其峰值先增加, 后趋于平稳。军曹鱼血清甘油三酯和胆固醇的含量会升高, 对其血清中低密度脂蛋白-胆固醇及高密度脂蛋白-胆固醇影响不显著。

关键词: 军曹鱼; 小麦淀粉; 血糖; 禁食再投喂

中图分类号: S963.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2015)01-0046-06

糖类是生物体重要的能源物质, 且与蛋白和脂肪相比, 其价格低廉。畜禽饲料中糖类含量较高, 而鱼类尤其是肉食性鱼类利用糖的能力较差, 饲料中过高的糖水平会导致鱼类抗病力下降、生长速度减缓、死亡率增加等不利影响^[1]。鱼类血糖、血清甘油三酯、血清总胆固醇水平的变化与机体的新陈代谢、生理状况密切相关, 被广泛地用来评价鱼体的健康状况及其对环境的适应能力。同时脂肪与糖在代谢过程中存在相同的中间代谢产物及合成脂肪的前体物质乙酰-CoA, 并且当体内糖含量增多时, 机体会通过一系列生化反应将多余的糖转化为糖原和

脂肪储存备用, 因此通过测定血糖、血清甘油三酯、血清胆固醇含量可在一定程度上反映糖脂代谢之间的关系。高密度脂蛋白和低密度脂蛋白在胆固醇及甘油三酯转运过程中有着重要的作用, 其含量可在一定程度上显示机体对甘油三酯和胆固醇的转运能力^[2]。

军曹鱼 (*Rachycentron canadum*) 是我国南方重要的养殖鱼类, 其隶属于鲈形总目, 鲈亚目, 军曹鱼科, 军曹鱼属^[3], 其生长迅速, 肉质细腻且营养价值极高^[4]。目前已开展的军曹鱼幼鱼与糖类相关的营养学研究包括: 不同糖源^[5, 6]、不同糖脂比例^[7]、不同糖水平^[7, 8]对其生长代谢的影响。研究表明, 糊化

收稿日期: 2014-01-15; 修订日期: 2014-04-26

基金项目: 水产养殖动物营养需求与高效配合饲料开发(2010030202)资助

作者简介: 刘迎隆(1988—), 男, 黑龙江哈尔滨人; 硕士研究生; 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: lyl870517@126.com

通信作者: 艾庆辉, 教授; 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: qhai@ouc.edu.cn

小麦淀粉是军曹鱼配合饲料的最佳糖源^[6]。而对于不同糖添加量对军曹鱼生理代谢的影响,特别是餐后血清中与糖脂代谢的生化指标: 血清血糖[Glucose (GLU)]、甘油三酯[triacylglycerol (TG)]、总胆固醇[Total cholesterol (TC)]、总蛋白[Total protein (TP)]、低密度脂蛋白-胆固醇[Low-density lipoprotein-cholesterol (LDL-C)]、高密度脂蛋白-胆固醇[high-density lipoprotein-cholesterol (HDL-C)]的研究还没有报道。因此本实验选取军曹鱼为研究对象,通过禁食再投喂对军曹鱼的血清糖脂相关生化指标进行研究,旨在探讨不同淀粉含量对军曹鱼这一典型肉食性鱼类禁食再投喂后血清生化指标产生的影响。从而初步解释摄入不同浓度的淀粉对糖脂代谢产生影响的生理机制,以期为优质军曹鱼配合饲料的生产提供理论依据。

表 1 饲料配方及营养成分 (%干物质)
Tab. 1 Ingredient composition of the experimental diets (% dry matter)

原料 Ingredients (%)	组别 Group					
	处理 1 Diet 1	处理 2 Diet 2	处理 3 Diet 3	处理 4 Diet 4	处理 5 Diet 5	处理 6 Diet 6
鱼粉 Fish meal ^a	62.21	62.21	62.21	62.21	62.21	62.21
小麦淀粉 Wheat starch ^b	0	6	12	18	24	30
鱼油 Fish oil	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
豆油 Soy oil	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
大豆卵磷脂 Soy lecithin	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
矿物质混合物 Mineral mixture ^c	1	1	1	1	1	1
维生素混合物 Vitamin mixture ^d	2	2	2	2	2	2
海藻酸钠 Sodium alginate	1	1	1	1	1	1
乙氧基喹啉 Ethoxyquin	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
微晶纤维素	30	24	18	12	6	0
Microcrystalline cellulose ^e						
Y ₂ O ₃	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
主要营养成分 Main nutrients (% dry matter)						
粗蛋白 Crude protein	45.08	45.17	45.50	45.44	45.88	44.97
粗脂肪 Crude lipid	9.18	9.48	9.70	9.38	9.01	9.48
粗灰分 Crude ash	11.83	11.19	11.79	11.74	12.29	13.15

注: ^a鱼粉购自广东粤海饲料有限公司, 粗蛋白 70.76%, 粗脂肪 10.38%; ^b小麦淀粉购自山东省菏泽市鄄城县明珠淀粉厂; ^c矿物质混合物(mg or g/kg diet): NaF, 2 mg; KI, 0.8 mg; CoCl₂·6H₂O (1%), 50 mg; CuSO₄·5H₂O, 10 mg; FeSO₄·H₂O, 80 mg; ZnSO₄·H₂O, 50 mg; MnSO₄·H₂O, 60 mg; MgSO₄·7H₂O, 1200 mg; Ca (H₂PO₃)₂·H₂O, 3000 mg; NaCl, 100 mg; zelite, 10.45 g; ^d维生素混合物 (mg or g/kg diet): thiamin (B1), 25 mg; riboflavin, 45 mg; pyridoxine HCl, 20 mg; vitamin B₁₂, 0.1 mg; vitamin K₃, 10 mg; nositol, 800 mg; pantothenic acid, 60 mg; niacin acid, 200 mg; folic acid, 20 mg; biotin, 1.20 mg; retinal acetate, 32 mg; cholecalciferol, 5 mg; α -tocopherol, 120 mg; ascorbic acid, 2000 mg; cholinechloride, 2000 mg; ethoxyquin 150 mg; wheat middling, 14.52 g; ^e微晶纤维素购自山东新大生物科技有限公司

Note: ^a Fish meal, obtained from Guangdong Yuehai Feed Group Co. Ltd. (Guangzhou, China), crude protein 70.76% dry matter, crude lipid 10.38% dry matter; ^b Wheat cornstarch, obtained from Juancheng Mingzhu Starch Factory (Shandong, China); ^c Mineral premix (mg or g/kg diet): NaF, 2 mg; KI, 0.8 mg; CoCl₂·6H₂O (1%), 50 mg; CuSO₄·5H₂O, 10 mg; FeSO₄·H₂O, 80 mg; ZnSO₄·H₂O, 50 mg; MnSO₄·H₂O, 60 mg; MgSO₄·7H₂O, 1200 mg; Ca (H₂PO₃)₂·H₂O, 3000 mg; NaCl, 100 mg; zelite, 10.45 g; ^d Vitamin premix (mg or g/kg diet): thiamin (B1), 25 mg; riboflavin, 45 mg; pyridoxine HCl, 20 mg; vitamin B₁₂, 0.1 mg; vitamin K₃, 10 mg; nositol, 800 mg; pantothenic acid, 60 mg; niacin acid, 200 mg; folic acid, 20 mg; biotin, 1.20 mg; retinal acetate, 32 mg; cholecalciferol, 5 mg; α -tocopherol, 120 mg; ascorbic acid, 2000 mg; cholinechloride, 2000 mg; ethoxyquin 150 mg; wheat middling, 14.52 g; ^e Microcrystalline cellulose, obtained from Shandong Xinda Biotechnology Co. supplements (Shandong, China)

1 材料与方法

1.1 实验过程与样品采集

军曹鱼购自广东湛江, 在广东海洋大学南三岛实验基地暂养 1 周后, 随机选取健康、规格整齐、平均体重为(172.56±0.80) g 的军曹鱼分为 6 组, 每组 3 个重复(网箱), 每个网箱(规格为 1.5 m×1.5 m×2.5 m) 放养 25 尾鱼。以鱼粉为蛋白源, 鱼油、豆油为脂肪源, 小麦淀粉为糖源, 饲料小麦淀粉添加量分别为 0% (对照组)、6%、12%、18%、24% 和 30%, 制作成 6 种等氮等脂的实验饲料(表 1)。每日 06:30 和 18:30 各饱食投喂一次, 持续 10 周后, 将实验鱼饥饿处理 24h 后, 进行饱食投喂, 在投喂前(0h)和投喂后 2h、5h、7h、24h 后每个网箱随机选取 2 尾鱼, 用丁香酚麻醉后, 尾静脉取血样, 在 4 °C、2500 r/min 离心 10min 吸取上清液, 并于-80 °C 冰箱中保存。养殖期间,

水温在(27—32)℃, 盐度为21‰—23‰, pH 7.6—7.8。氨氮在0.05 mg/L以下, 溶氧值不小于6.0 mg/L。

1.2 实验数据分析

实验饲料分析 饲料水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分参照AOAC中描述的方法^[9]。在105℃烘至恒重求得水分, 粗蛋白采用凯氏定氮法测定, 粗脂肪采用索氏抽提法测定, 粗灰分为马弗炉550℃灼烧8h测得。

血清生化指标分析 血糖指标参照Barham等描述的方法^[10], 血清总蛋白参照Peters描述的方法^[11], 血清总胆固醇参照Richmond等描述的方法^[12], 血清甘油三酯参照Schettler等描述的方法^[13], 高密度脂蛋白-胆固醇参照Gordon等描述的方法^[14], 低密度脂蛋白-胆固醇参照Okada等描述的方法^[15], 利用深圳迈瑞(Mindray)公司生产的LX-20型Beckman全自动生化分析仪及其配套试剂进行分析。

1.3 数据处理

采用SPSS 17.0对数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 当实验处理对结果影响差异显著时($P<0.05$), 进行Turkey多重比较。

2 结果

在经过10周的投喂处理后, 饥饿24h再投喂, 投喂前(0h)随饲料中糖添加量的增多, 血糖含量逐渐增多。同时, 12%、18%、24%和30%组血糖峰值, 显著高于0%组($P<0.05$)(图1)。

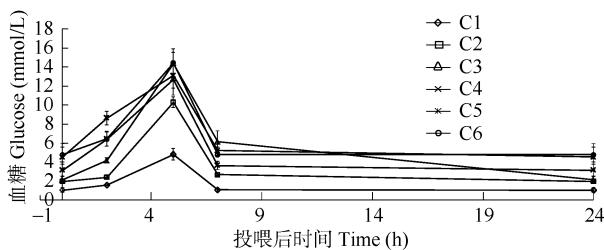


图1 禁食后再投喂对军曹鱼血清中血糖含量的影响

Fig. 1 Effects of different diets re-feeding following fasting on glucose in serum of cobia

血清中总蛋白含量在各个时间点各组之间均没有显著差异, 同一处理组在不同时间点其含量无显著差异($P>0.05$)(图2)。

投喂前(0h), 随饲料中糖添加量的增多, 血清甘油三酯(图3)和血清胆固醇(图4)含量逐渐增加。同时, 随糖添加量的增加, 血清甘油三酯和血清胆固醇峰值呈上升趋势。而投喂前(0h)及峰值低密度

脂蛋白-胆固醇(图5)和高密度脂蛋白-胆固醇(图6)含量无显著差异($P>0.05$)。

投喂后, 各组军曹鱼血清血糖均是在(0—5)h升高, 在5h处达到峰值, 并显著高于其他时间组($P<0.05$)。在摄食5h后血糖开始下降, 在7h时基本恢复到投喂前水平(图1)。

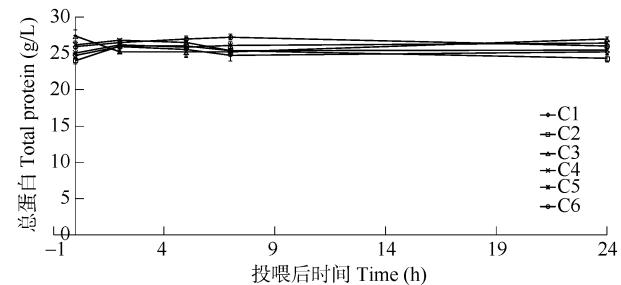


图2 禁食后再投喂对军曹鱼血清总蛋白含量的影响

Fig. 2 Effects of different diets re-feeding following fasting on total protein in serum of cobia

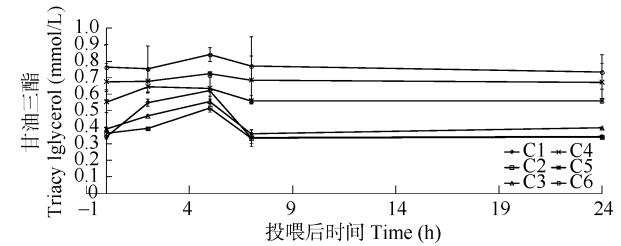


图3 禁食后再投喂对军曹鱼血清甘油三酯含量的影响

Fig. 3 Effects of different diets re-feeding following fasting on triacylglycerol in serum of cobia

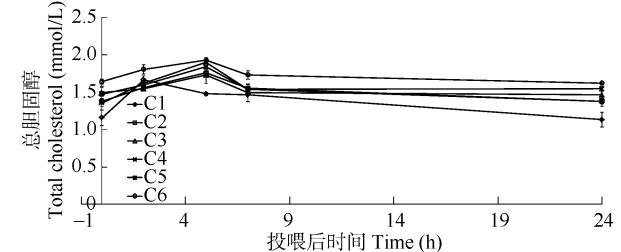


图4 禁食后再投喂对军曹鱼血清总胆固醇含量的影响

Fig. 4 Effects of different diets re-feeding following fasting on total cholesterol in serum of cobia

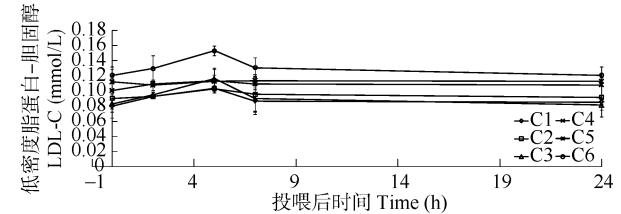


图5 禁食后再投喂对军曹鱼血清低密度脂蛋白-胆固醇含量的影响

Fig. 5 Effects of different diets re-feeding following fasting on low-density lipoprotein-cholesterol (LDL-C) in serum of cobia

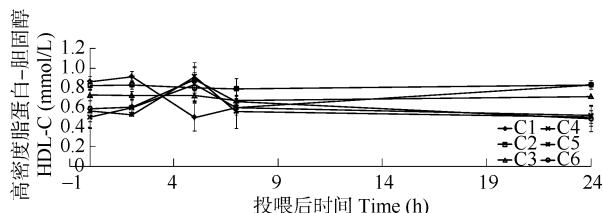


图 6 禁食后再投喂对军曹鱼血清高密度脂蛋白-胆固醇含量的影响

Fig. 6 Effects of different diets re-feeding following fasting on high-density lipoprotein-cholesterol (HDL-C) in serum of cobia

各处理组军曹鱼血清中甘油三酯含量均是在(0—5)h 升高, 在摄食 5h 后其含量开始下降, 在 7h 时基本恢复到投喂前水平。其中在 0%、6% 和 12% 组中, 摄食 5h 后含量显著高于摄食前与摄食后 7h 和 24h ($P<0.05$); 而在 18%、24% 和 30% 组中, 无显著差异($P>0.05$)(图 3)。军曹鱼血清中胆固醇含量除 0% 淀粉组在(0—2)h 迅速升高, 在 2h 左右达到峰值, 在(2—7)h 呈现下降趋势, 之后趋于平稳外。其他处理组变化趋势基本相似, 均是在(0—5)h 显著升高, 在摄食 5h 后其含量开始下降, 在 7h 时基本恢复到投喂前水平。在 18%、24% 和 30% 淀粉组, 血清中胆固醇含量在摄食后 5h 显著高于摄食前与摄食后 24h ($P<0.05$)(图 4)。血清中低密度脂蛋白-胆固醇都是在(0—5)h 显著升高, 在摄食 5h 后其含量开始下降, 在 7h 时基本恢复到投喂前水平, 但各处理组之间无显著差异($P>0.05$)(图 5)。而血清中高密度脂蛋白-胆固醇含量除在 24% 添加组中, 摄食后 5h 显著高于摄食前及投喂结束后 24h 处理组($P<0.05$), 其他处理组之间无显著差异($P>0.05$)(图 6)。

3 讨论

任鸣春等对不同糖源饲料对禁食再投喂军曹鱼(7.0 g)血清中血糖变化的研究发现, 军曹鱼摄食含有可消化糖的饲料, 摄食后血糖开始上升, 5h 后血糖达到峰值, 之后血糖开始下降, 11h 后血糖略高于投喂前血糖含量, 24h 血糖降低与取样前持平^[6]。在本实验中, 初始体重为 170 g 的军曹鱼在摄入含有不同淀粉含量的饲料与上述研究有相似的结果, 其血糖含量先升高后降低, 在摄食后 5h 达到峰值。血糖峰值随饲料中糖添加量的增加先升高然后趋于平稳, 这与异育银鲫的研究结果相似^[16]。这可能由于随着饲料中糖添加量的增加, 军曹鱼对糖的消化率先增高, 后趋于平稳, 导致机体无法吸收多余的糖

进行新陈代谢。吉富罗非鱼在注射葡萄糖后 1h 血糖达到最高水平, 而后显著下降, 3h 后降低到正常水平^[17]。异育银鲫禁食 4 周后进行的糖耐量的实验结果表明, 口服 167 mg/100 g 体重的葡萄糖后其血糖在(0—3)h 迅速升高, 并于 3h 时达到最高水平, 以后逐渐下降^[18]。本实验与上述研究相比峰值出现较晚, 这可能是因为相比于注射, 通过口服的形式需要一定的时间进行消化吸收。同时淀粉等大分子糖类需经消化酶进行降解成葡萄糖后才能进入循环系统, 而小分子葡萄糖可以直接被吸收, 所以血糖升高的速度更快。这一推测与在草鱼上的研究结果相吻合^[19]。

由于甘油三酯和胆固醇的合成所需的碳骨架和还原性物质分别来自于糖酵解过程的产物乙酰辅酶 A(CoA)和 NADPH, 摄食后血清中血糖含量增多进而导致组织中碳水化合物含量增加, 这将刺激鱼体糖酵解作用增强^[17, 20], 由此产生大量的 CoA 和 NADPH 进而转化为甘油三酯及胆固醇。鱼类通常具有将多余的糖转化为脂肪的能力, 但这种能力存在明显的种属差异^[21]。胆固醇的合成途径对胆固醇的浓度变化反应快速, 其调节机制依赖于胆固醇合成速度和体内胆固醇的排泄之间的平衡。调节的不平衡将导致循环系统中血浆胆固醇的增加^[2]。目前对摄食后血液甘油三酯含量的研究结果还存在一定的分歧。众多的研究结果表明, 鱼类在禁食后口服不同剂量的糖类, 其血清的甘油三酯含量在灌注后先上升, 随后降低至灌注前水平^[16, 18, 22—24]。本研究也发现, 摄食后血液中甘油三酯含量在(0—5)h 上升, 在(5—7)h 开始下降, 并基本恢复到投喂前水平。但也有研究表明, 给一龄虹鳟口服 1g 葡萄糖后血脂含量会大幅度下降^[25]。在本研究中还发现, 军曹鱼摄食后, 其血清中胆固醇含量先升高后降低, 这可能是因为摄食后, 通过糖酵解作用产生了过多的 CoA 和 NADPH, 可用于合成胆固醇, 导致机体内胆固醇合成与排泄之间出现不平衡, 使血清中胆固醇含量增多。

LDL-C 比前体极低密度脂蛋白(VLDL)含有更少的三酰甘油, 更多的胆固醇和胆固醇酯。LDL 的主要功能是提供胆固醇给外周组织^[26]。而前 β -HDL 作为外周细胞移出胆固醇的最初受体直接参与了胆固醇逆向转运的起始步骤, 外周细胞中的胆固醇选择性地转运到 HDL, 再从 HDL 转运到肝, 合成胆汁酸或通过胆汁清除, 或转运生成类固醇的细胞合成

激素^[2, 27]。有研究表明禁食后再投喂玉米、小麦、木薯等日粮后的草鱼幼鱼血清低密度脂蛋白-胆固醇和高密度脂蛋白-胆固醇在 1h 内均迅速升高至峰值, 在随后的(1—2)h 内迅速降低, 在(2—4)h 内有回升趋势^[28]。而在本实验中低密度脂蛋白-胆固醇呈现出先升高然后降低的趋势。这可能是因为机体通过糖酵解和脂肪合成过程在肝脏中产生了过多的胆固醇, 刺激机体将肝脏中的胆固醇向其他组织转运。而高密度脂蛋白-胆固醇, 只是在 24%添加组中, 摄食后 5h 显著高于摄食前及投喂结束后 24h 处理组, 其他处理组之间无显著差异。这可能是因为长时间摄入过多的糖后, 肝脏积累了过多的脂肪, 产生了代谢紊乱, 对其行使胆固醇逆转运功能产生了一定的影响。

4 结论

本实验结果表明: (1) 170 g 军曹鱼禁食再摄入不同含量的小麦淀粉后, 其血清中血糖含量先升高后降低。随着饲料中淀粉添加量从 0%增加到 12%, 血糖峰值也增加, 当饲料淀粉含量超过 12%时, 血糖峰值趋于平稳。(2) 170 g 军曹鱼禁食再摄入一定量的小麦淀粉后, 其血清内甘油三酯和胆固醇的含量升高, 但对其血清中低密度脂蛋白-胆固醇及高密度脂蛋白-胆固醇影响不显著。

参考文献 :

- [1] 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—517
- [2] Wang J Y, Zhu S G, Xu C F, Biochemistry (3rd edition) [M]. Beijing: Higher Education Press. 2002, 147—196, 230—298 [王镜岩, 朱胜庚, 徐长法. 生物化学(第三版)(下册). 北京: 高等教育出版社. 2002, 147—196, 230—298]
- [3] Han T, Wang J T, Wang Y, et al. Effect of different fish protein hydrolysate (FPH) level of dietary supplements on growth and body composition of larvae of cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, **34**(1): 94—99 [韩涛, 王骥腾, 王勇, 等. 饲料中不同水平鱼蛋白水解物对军曹鱼生长组成及体组成的影响. 水生生物学报, 2010, **34**(1): 94—99]
- [4] Li L D, Chen B S, Feng J, et al. Analysis and evaluation in nutritive value of *Rachycentron canadum* (Linnaeus) [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2002, **21**(1): 76—82. [李刘冬, 陈毕生, 冯娟, 等. 军曹鱼营养成分的分析及评价. 热带海洋学报, 2002, **21**(1): 76—82]
- [5] 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]. *Aquaculture Research*, 2010, **42**: 99—107
- [6] Ren M C. Studies on nutritional physiology of carbohydrate for cobia and rainbow trout [D]. Thesis for Doctor of Science. Ocean University of China, Qingdao. 2012 [任鸣春. 军曹鱼和虹鳟糖类生理研究. 博士学位论文, 中国海洋大学, 青岛. 2012]
- [7] Cui X J. Study on mechanism of carbohydrate utilization for juvenile cobia, *Rachycentron canadum* [D]. Thesis for Master of Science. Guangdong Ocean University, Zhanjiang. 2010 [崔现军, 军曹鱼糖代谢机理的研究. 硕士学位论文, 广东海洋大学, 湛江. 2010]
- [8] Ren M C, Ai Q H, Mai K S, et al. Effect of dietary carbohydrate level on growth performance, body composition, apparent digestibility coefficient and digestive enzyme activities of juvenile cobia, *Rachycentron canadum* L [J]. *Aquaculture Research*, 2011, **42**: 1467—1475
- [9] Association of Official Analytical Chemists, Official Method Analysis, 16th edn [M]. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, USA. 1995, 69—78
- [10] Barham Denise, Trinder P. An improved colour reagent for the determination of blood glucose by the oxidase system [J]. *Analyst*, 1972, **97**: 142
- [11] Peters T. Proposals for standardisation of total protein assays [J]. *Clinical Chemistry*, 1968, **14**(12): 1147—1159
- [12] Richmond W. Preparation and properties of a cholesterol oxidase from *Norcardiu* sp. and its application to the enzymatic assay of total cholesterol in serum [J]. *Clinical Chemistry*, 1973, **19**: 1350—1356
- [13] Schettler G, Nussel E. Determination of triglycerides [J]. *Arbeitsmed Sozialmed Präventivmed*, 1975, **10**: 10—25.
- [14] Gordon T, Castelli Wp, Hjortland Mc, et al. High density lipoprotein as a protective factor against coronary heart disease [J]. *The American Journal of Medicine*, 1977, **62**: 707—714
- [15] Okada M, Matsui H, Ito Y, et al. Low-density lipoprotein cholesterol can be chemically measured: a new superior method [J]. *The Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 1998, **132**: 195—201
- [16] Wang F, Tan Q S, Xie S Q, et al. Metabolic responses of plasma glucose and triglyceride of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) after oral administration of different dosage of soluble starch [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2008, **32**(4): 610—614 [王芬, 谭青松, 解绶启, 等. 异育银鲫口服不同剂量淀粉后血糖和血脂代谢变化. 水生生物学报, 2008, **32**(4): 610—614]
- [17] Liu H L, Sun M M, Wang H W, et al. Effects of glucose injection on biochemical parameters, insulin, and glycolytic enzymes in GIFT (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, **19**(5): 813—820 [刘含亮, 孙敏敏, 王红卫, 等. 注射葡萄糖对吉富罗非鱼血浆生化指标、胰岛素和糖酵解关键酶的影响. 中国水产科学, 2012, **19**(5): 813—820]
- [18] Cai C F, Liu Y, Chen L Q, et al. Metabolic responses of allogyno genetic gibel carp after oral administration of different doses of glucose [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*,

2003, 27(6): 602—606 [蔡春芳, 刘影, 陈立侨, 等. 异育银鲫口服不同剂量葡萄糖后的代谢反应. 水生生物学报, 2003, 27(6): 602—606]

[19] Tian L X, Liu Y J, Liu D H, et al. Studies on the utilization of glucose and starch as an energy source of grass carp [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2001, 3, 40(2): 104—106 [田丽霞, 刘永坚, 刘栋辉, 等. 草鱼对葡萄糖和淀粉作为能源的利用研究. 中山大学学报(自然科学版), 2001, 3, 40(2): 104—106]

[20] 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 [林小植, 罗毅平, 谢小军. 饲料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. 水生生物学报, 2006, 30(3): 304—310]

[21] Suarez M D. Metabolic effects of changes in the dietary protein: carbohydrate ratio in eel (*Angillaanguilla*) and trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture International*, 2002, 10(2): 143—156

[22] Yang W, Ye J D, Wang K, et al. Glucose tolerance in grouper (*Epinphelus coioides*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, 36(3): 563—568 [杨伟, 叶继丹, 王琨, 等. 斜带石斑鱼经葡萄糖灌喂后的代谢反应. 水生生物学报, 2012, 36(3): 563—568]

[23] Deng D F, Refstie S, Hung S S O. Glycemic and glycosuric responses in white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) after oral administration of simple and complex carbohydrates [J]. *Aquaculture*, 2001, 199: 107—117

[24] Peres H, Goncalves P, Oliva-Teles A. Glucose tolerance in gilthead sea bream (*Sparusaurata*) and European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Aquaculture*, 1999, 179: 415—423

[25] Palmer T N, Ryman B E. Studies on oral glucose intolerance in fish [J]. *Journal of Fish Biology*, 1972, 4: 311—319

[26] Sun L, Wang J J, Zhuang Y Y. Modify low density lipoprotein by lipid transfer activity and triglyceride hydrolysis [J]. *Basic Medical Sciences and Clinics*, 1999, 19(4): 51—55. [孙林, 王俊军, 庄一义. 脂质转运和酯酶水解对低密度脂蛋白的修饰作用. 基础医学与临床, 1999, 19(4): 51—55]

[27] Zhao S P. Advance of the studies on high density lipoprotein [J]. *Chinese Journal of Arteriosclerosis*, 2005, 13(6): 673—675 [赵水平. 高密度脂蛋白的研究现状. 中国动脉硬化杂志, 2005, 13(6): 673—675]

[28] Yin X J, Ye Y T, Cai C F, et al. The effects of corn, wheat and cassava on plasma glucose and lipid levels of *Ctenopharyngodon idella* juveniles after feeding [J]. *China Feed*, 2010, 9: 18—22 [尹晓静, 叶元土, 蔡春芳, 等. 玉米、小麦、木薯日粮对草鱼幼鱼餐后血糖、血脂水平的影响. 中国饲料, 2010, 9: 18—22]

EFFECTS OF DIETARY STARCH ON BIOCHEMICAL INDEXES OF THE SERUM OF COBIA (*RACHYCENTRON CANADUM*)

LIU Ying-Long, MAI Kang-Sen, XU Wei, ZHANG Yan-Jiao, WANG Zhen and AI Qing-Hui

(The Key Laboratory of Mariculture (Ministry Education of China), Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: To investigate effects of re-feeding following fasting on plasma glucose, total protein, triacylglycerol, total cholesterol, low-density lipoprotein-cholesterol (LDL-C) and high-density lipoprotein-cholesterol (HDL-C) contents in cobia fasted for 24h, six diets were formulated to contain 0% (control), 6%, 12%, 18%, 24% and 30% starch, respectively. The results showed that the serum glucose levels of cobia after re-feeding with each diet elevated from 0h to 5h and then started to decline till 7h that the glucose levels were similar to those at 0h. Different dietary starch and postprandial time did not significantly influence the total protein levels in serum. The triacylglycerol levels in serum elevated from 0h to 5h and then began to decline. At 7h, the levels were similar to those at 0h. In the control group, the concentration of cholesterol in serum increased from 0h to 2h and then decreased from 2h to 7h that reached to fasting level. In other groups, the serum cholesterol levels increased from 0h to 5h and then began to decline; then, it also reached to fasting level at 7h. The levels of LDL-C increased from 0h to 5h and then began to decline. At 7h, the levels of LDL-C declined to the basal level. However, different dietary starch and postprandial time did not significantly influence the levels of LDL-C in serum. In the group of 24%, the levels of HDL-C at 5h were significantly higher than those at 0 and 24h. No significant differences were found for the levels of HDL-C among other groups. In conclusion, the glucose levels increased and then declined. The peak glucose levels increased with the increase of dietary starch level up to 12% and remained nearly the same thereafter. The levels of triacylglycerol and cholesterol in serum increased after re-feeding, but there were no significant differences in the LDL-C and HDL-C levels in serum after re-feeding.

Key words: Cobia (*Rachycentron canadum*); Wheat starch; Glucose; Re-feeding after fasting