

饲料不同水平淀粉对全养殖周期异育银鲫“中科3号”生长和糖代谢的影响

梅玲玉 韩冬 巫丽云 郭伟 刘昊昆 金俊琰 杨云霞 朱晓鸣 解绶启

A LONG-TERM CULTURE OF GIBEL CARP (*CARASSIUS AURATUS GIBELIO*) IN NET CAGES FOR 340 DAYS: EFFECTS OF DIETARY STARCH ON GROWTH AND GLUCOSE METABOLISM

MEI Ling-Yu, HAN Dong, WU Li-Yun, GUO Wei, LIU Hao-Kun, JIN Jun-Yan, YANG Yun-Xia, ZHU Xiao-Ming, XIE Shou-Qi

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2021.2020.051>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于生物能量学原理构建异育银鲫生长、饲料需求和污染排放模型

BIOENERGETICS-BASED MODEL TO DETERMINE GROWTH, FEED REQUIREMENT AND WASTE OUTPUT OF GIBEL CARP (*CARASSIUS AURATUS GIBELIO*)

水生生物学报. 2018, 42(2): 221–231 <https://doi.org/10.7541/2018.028>

饲料蛋白质和小麦淀粉水平对中大规格草鱼生长性能及肝脏组织结构的影响

EFFECTS OF DIETARY PROTEIN AND WHEAT STARCH ON GROWTH AND LIVER STRUCTURE OF GRASS CARP, *CTENOPHARYNGODON IDELLA*

水生生物学报. 2019, 43(5): 983–991 <https://doi.org/10.7541/2019.117>

异育银鲫易钓性的表型基础和生态结果及饥饿响应

THE PHENOTYPIC BASIS, ECOLOGICAL CONSEQUENCES AND FASTING RESPONSES TO ANGLING OF JUVENILE GIBEL CARP (*CARASSIUS AURATUS GIBELIO*)

水生生物学报. 2018, 42(4): 751–761 <https://doi.org/10.7541/2018.092>

在患CyHV-2病的异育银鲫肠道黏膜中胆固醇、胆汁酸代谢通路基因的差异表达

GENE DIFFERENCE EXPRESSION OF CHOLESTEROL AND BILE ACID METABOLISM PATHWAY IN INTESTINAL MUCOSA WITH THE CYHV-2 DISEASE *CARASSIUS AURATUS GIBELIO*

水生生物学报. 2017, 41(5): 956–962 <https://doi.org/10.7541/2017.119>

模拟运输对异育银鲫血液生理生化指标、体色和肉质的影响

EFFECTS OF SIMULATIVE TRANSPORTATION ON THE PLASMA BIOCHEMICAL INDICES, BODY COLOR AND FILLET QUALITY OF GIBEL CARP

水生生物学报. 2019, 43(1): 86–93 <https://doi.org/10.7541/2019.011>

水环境中磺胺嘧啶胁迫下异育银鲫的组织病理学研究

HISTOPATHOLOGY OF *CARASSIUS AURATUS GIBELIO* AFTER SULFADIAZINE EXPOSURE IN WATER ENVIRONMENT

水生生物学报. 2018, 42(1): 47–56 <https://doi.org/10.7541/2018.007>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2021.2020.051

饲料不同水平淀粉对全养殖周期异育银鲫 “中科3号”生长和糖代谢的影响

梅玲玉^{1,2} 韩冬^{1,3} 巫丽云^{1,2} 郭伟^{1,2} 刘昊昆¹ 金俊琰¹
杨云霞¹ 朱晓鸣^{1,3} 解绶启^{1,3}

(1. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 湖北省水产动物营养与饲料工程技术研究中心, 武汉 430072)

摘要: 研究探讨了饲料淀粉对全养殖周期异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)生长性能和糖代谢的影响。实验以玉米淀粉为主要糖源, 分别设计淀粉水平为3% (S3)、13% (S13)、23% (S23)、33% (S33)和43% (S43)的5种等氮等脂饲料, 在长江故道江面网箱中饲养初始体重为(12.0±0.1) g的异育银鲫幼鱼340d, 期间根据鱼体养成阶段共取样5次, 生长阶段分为63d(D63, 幼鱼期)、110d(D110, 养成前期)、223d(D223, 越冬期)、275d(D275, 越冬后)和340d(D340, 养成中后期)。研究结果表明, 幼鱼期D63异育银鲫后肠淀粉酶活力较低且对饲料淀粉水平变化不敏感, 自养成前期D110之后鱼体后肠淀粉酶活力增强且随饲料淀粉水平的变化产生波动。幼鱼期D63异育银鲫*glut2* mRNA相对表达量无显著差异, 其他阶段异育银鲫*glut2* mRNA相对表达量水平随饲料淀粉水平升高而升高。各个生长阶段异育银鲫糖酵解的敏感度高于糖异生代谢, 幼鱼期D63与养成前期D110异育银鲫糖脂转化能力较强。幼鱼期D63异育银鲫适宜饲料淀粉水平为23%; 养成前期D110异育银鲫适宜饲料淀粉水平减为13%; 越冬后D275组异育银鲫整体代谢旺盛, 43%淀粉组生长最好; 而在养成中后期D340异育银鲫饲料淀粉需求则再次降到33%。研究结果表明, 异育银鲫在养殖周期的不同阶段对饲料淀粉的需求和利用存在显著的差异, 可以为异育银鲫不同养殖阶段特有饲料配方的设计提供支撑。

关键词: 异育银鲫; 全养殖周期; 饲料淀粉; 需求; 糖代谢; 生长性能

中图分类号: S965.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2021)03-0557-09



碳水化合物作为供能物质, 有提高鱼类对饲料蛋白利用率和节约养殖成本的作用。鱼类摄食过高碳水化合物水平的饲料会致使鱼体生长缓慢、糖代谢紊乱甚至引发代谢疾病^[1-3]。鱼类与小鼠糖代谢模式相似, 代谢速度相对缓慢^[4]。鱼体糖代谢调节主要包括激素调节与酶调节。研究表明, 鱼类体温相对较低, 代谢能力较差, 但鱼类胰岛素分泌量与人类差别不大, 暗示鱼类存在非胰岛素依赖血糖调节途径^[4-8]。伴随鱼类生长发育过程其消化器官功能不断完善, 肠道菌群数量、组成和分布不断变化, 对营养物质的需求也不断变化, 多种鱼类被报道其生长发育过程中食性发生改变^[9, 10]。

已有研究表明, 鱼体规格对糖利用能力有一定的影响。异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)幼鱼摄食24%—32%淀粉水平的饲料时生长性能及饲料利用较好, 对饲料碳水化合物的最适需求量在30%左右^[11-13], 而中规格(52 g左右)和大规格(129 g左右)异育银鲫的最适饲料淀粉水平分别为29.2%和27.2%^[11]。草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)幼鱼(6.5 g左右)可以较好地利用33%—38%淀粉水平的饲料, 37%淀粉水平的饲料则显著限制了大规格草鱼(398 g左右)的生长^[14, 15], 青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)幼鱼(3.5 g左右)摄食含20%淀粉饲料时获得最大特定生长率和饲料效率^[11], 青鱼鱼种(48 g左

收稿日期: 2020-03-21; 修订日期: 2020-07-16

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0900400); 国家自然科学基金(31672670和31972771)资助 [Supported by the National Key R & D Program of China (2018YFD0900400); the National Natural Science Foundation of China (31672670 and 31972771)]

作者简介: 梅玲玉(1994—), 女, 硕士研究生; 主要从事鱼类生理生态学研究。E-mail: 2064016530@qq.com

通信作者: 韩冬(1979—), 博士, 研究员; E-mail: hand21cn@ihb.ac.cn

右)对饲料糊精的适宜需求量为20%左右^[16]。综上所述,鱼体在不同生长阶段对饲料碳水化合物需求有所差异,可能与鱼体生命周期不同阶段生长速度的不同及新陈代谢能力的变化密切相关^[17, 18]。根据鱼体不同生长阶段对碳水化合物需求的不同来配制不同的饲料不仅可以促进鱼类生长,还可以节约饲料蛋白质,降低养殖成本,减少氨氮排放。而目前关于不同规格鱼体对营养元素需求差异的比较研究主要集中于蛋白质,尚且缺乏较为系统的不同规格鱼类对饲料淀粉需求差异的比较研究。因而本实验以中国较为广泛养殖的经济鱼类异育银鲫“中科3号”为养殖对象,设计淀粉水平为3%、13%、23%、33%和43%五个梯度的饲料,进行周期为340d的养殖实验,比较探究异育银鲫全养殖周期不同阶段对饲料淀粉的需求及糖代谢差异。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以秘鲁鱼粉和酪蛋白为主要蛋白源,以鱼油和豆油(1:1)为主要脂肪源,以玉米淀粉为主要碳水化合物源,分别设计淀粉水平为3%(S3)、13%(S13)、23%(S23)、33%(S33)和43%(S43)五个处理组饲料,将饲料原料粉碎后均匀混合,鱼油豆油1:1均匀混合后再与原料混匀过40目筛,饲料制粒后70℃烘干至水分为(10±1)%,冷却后储存于4℃冷库备用(表1)。

1.2 养殖实验设计

本实验于2016年8月18日至2017年7月20日在湖北省石首市老河渔场长江故道江段网箱进行,为期340d。

整个实验分为5个养殖阶段:幼鱼期(第63天取样, D63)、养成前期(第110天取样, D110)、越冬期(第223天取样, D223)、越冬后(第275天取样, D275)和养成中后期(第340天取样, D340)。除去越冬期D223组外,每个养殖阶段实验鱼投喂5种实验饲料(表1),每个饲料组4个平行,共计20个网箱。

实验鱼首先在江段网箱实验系统中暂养2周,暂养饲料为5种实验饲料的等量混合饲料。实验开始前将实验鱼饥饿24h,随机选取体格匀称、健康活泼的实验鱼60尾[初始体重(12.0±0.1)g]放入每个网箱中,另取15尾实验鱼作为初始样品,研究对象为异育银鲫“中科3号”。实验期间每天饱食投喂3次(8:00、13:00和18:00),越冬期间停止投喂实验饲料。整个实验均在自然光照周期及温度条件下进行, D63阶段水温为21.5—30.5℃, D110阶段水温为17.0—21.5℃,越冬期水温为3.8—17.3℃, D275阶

表1 饲料配方及化学组成(%干物质)

Tab. 1 Formulation and chemical composition of the experimental diets (% dry matter)

原料Ingredient	饲料Diet				
	S3	S13	S23	S33	S43
秘鲁鱼粉Peruvian fishmeal	8.45	8.45	8.45	8.45	8.45
酪蛋白Casein	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
玉米淀粉Corn starch	3.00	13.00	23.00	33.00	43.00
鱼油Fish oil	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37
豆油Soybean oil	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37
纤维素Cellulose	40.11	30.11	20.11	10.11	0.11
氯化胆碱Choline chloride	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
磷酸二氢钙Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
维生素预混物 ¹ Vitamin premix ¹	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
矿物盐预混物 ² Mineral premix ²	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
乙氧基喹啉Ethoxyquin	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
化学组成Chemical composition					
能量Gross energy (kJ/g)	11.90	13.60	15.30	17.00	18.70
粗蛋白Crude protein	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
粗脂肪Crude lipid	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00

注: 1. 维生素预混物 Vitamin premix (mg/kg diet): 维生素B₁ Thiamin, 20; 维生素B₂ Riboflavin, 20; 维生素B₆ Pyridoxine, 20; 维生素B₁₂ Cyanocobalamine, 0.02; 叶酸 Folic acid, 5; 泛酸钙Calcium pantothenate, 50; 肌醇 Inositol, 100; 烟酸 Niacin, 100; 生物素Biotin, 0.1; 维生素C Ascorbic acid, 100; 维生素A Retinol, 110; 维生素D Vitamin D, 20; 维生素E Vitamin E, 50; 维生素K Vitamin K, 10; 玉米淀粉 Corn starch, 645.2; 2. 矿物盐预混物 Mineral premix (mg/kg diet): NaCl, 500.0; MgSO₄·7H₂O, 8155.6; NaH₂PO₄·2H₂O, 12500.0; KH₂PO₄, 16000.0; CaHPO₄·2H₂O, 7650.6; FeSO₄·7H₂O, 2286.2; C₆H₁₀CaO₆·5H₂O, 1750.0; ZnSO₄·7H₂O, 178.0; MnSO₄·H₂O, 61.4; CuSO₄·5H₂O, 15.5; CoSO₄·7H₂O, 0.9; KI, 1.5; Na₂SeO₃, 0.6; 玉米淀粉 Corn starch, 899

段水温为17.3—23.5℃, D340阶段水温为18.3—25.8℃。养殖期间溶氧为5.01—6.88 mg/L, 氨氮含量为0.04—0.43 mg/L。

每次样品采集前,所有实验对象饥饿24h,用MS-222(100 mg/L)将鱼麻醉,对所有网箱的鱼分别计数称重,随机挑选规格中等鱼体6条称量体长、体重和体宽,实验鱼静脉取血后,其中2条装袋作为末样;其余解剖分离肝脏、肌肉和肠道组织,置于-80℃冰箱保存。

1.3 样品分析

鱼体末样用高压灭菌锅(120℃, 101.33 kPa)处理20min,冷却后捣碎,75℃烘干至恒重后粉碎。干物质测定使用失重法于105℃烘箱烘干至恒重测定,

粗蛋白使用凯氏定氮仪(FOSS Teacator, Haganas, Sweden)测定, 粗脂肪使用索氏抽提仪(Soxtec System HT6 Tecator, Haganas, Sweden)测定。灰分使用马弗炉(湖北英山县建力电炉制造厂, 湖北英山)于550℃焚烧至恒重进行测定。

尾静脉抽取血液至1.5 mL离心管(注射器和离心管均用0.2%肝素钠浸润), 以3500×g离心5min, 吸取透明上清制备血浆, 血浆葡萄糖和血浆胆固醇含量用全自动生化分析仪(迈瑞BS-460, 中国深圳)及其标准试剂盒(氧化酶法)测定, 具体方法参见仪器使用说明。后肠淀粉酶测定使用南京建成生物工程研究所的试剂盒: 于660 nm波长下测定吸光度值。糖原测定使用南京建成生物工程研究所的试剂盒: 620 nm波长测定吸光度值, 具体方法参见试剂盒说明。

基因表达量的测定用Trizol (Invitrogen, USA)按其说明书步骤提取组织RNA, 1.2%琼脂糖凝胶电泳测定其完整度, NanoDrop-2000光谱仪测定mRNA纯度及浓度后用Invitrogen公司M-MLV Frist-Stand Synthesis System按其说明书反转录为cDNA。RT-qPCR反应体系为6 μL(3 μL Light Cycle[®] 480 SY-BR[®] Green I Master、0.24 μL Primer forward、0.24 μL Primer reverse和2.52 μL cDNA)。PCR反应在罗氏Light Cycle 480 II (Roche, Basel, Switzerland)PCR仪上进行。反应程序: 95℃预热5min, 三步扩增(95℃变性10s, 60℃退火30s, 72℃延伸30s), 45个循环。引物序列见表2。

表2 RT-qPCR所用引物

Tab. 2 Primers used in RT-qPCR

引物Primer	序列Sequence (5'—3')	GenBank登录号 GenBank accession number
<i>actin</i> 肌动蛋白	TTGAGCAGGAGATGGGA ACCG GAGCCTCAGGGCAACGG AAA	AB039726.2
<i>glut2</i> 葡萄糖转运载体2	CTCGTGGATGAGCTACCT CAGCAT CCCTGACTGAAGATCTCC GCCA	KX898504
<i>hk</i> 己糖激酶	TATGAGAAGATGATCAG CGGGATGTACC ATCACACGTGCTGCTGAT CAAGCCCA	KX898499
<i>gk</i> 葡萄糖激酶	GAGGAGATGCGTAAGGT GGAGCT TTCTCATACAGCTGATGT CCAGGGTT	KX898498
<i>pepck</i> 磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶	AGACAAACCCTCATGCC ATGGCAAC GGGTCTATGATGGGGCA CTGG	KX898506
<i>g6pc</i> 葡萄糖-6-磷酸酶	CCTTACTGGTGGGTCCAT GAGACT TGGGCCGGTCTCACAGG TCAT	KX898505

1.4 统计分析

所有数据采用SPSS 23.0经正态检验及方差齐性检验后, 进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 显著性水平设为 $P<0.05$, 差异显著时对各处理组进行Duncan's多重比较。

2 结果

2.1 饲料淀粉对全养殖周期异育银鲫“中科3号”生长性能和鱼体成分的影响

在幼鱼期(2016年8月18日至2016年10月17日, 第1至第63天, D63), 饲料淀粉水平高于23%处理组的异育银鲫增重率、特定生长率及肥满度显著高于S13与S23组($P<0.05$), 饲料效率随饲料淀粉水平上升总体呈上升趋势。其中S23组生长表现最好, 各处理组鱼体蛋白含量无显著差异, 鱼体脂肪含量随饲料淀粉水平升高呈先上升后稳定的趋势, S23处理组鱼体脂肪含量最高。在养成前期(2016年10月18日至2016年12月03日, 第64至第110天, D110), 不同处理组异育银鲫增重率、摄食率、饲料效率、特定生长率及肥满度随饲料淀粉水平的升高呈现先上升后下降的趋势, S13处理组异育银鲫增重率及特定生长率显著高于其他各组, 各处理组的鱼体粗蛋白含量无显著差异, 粗脂肪随饲料淀粉水平的升高呈先上升后下降的趋势, S13处理组鱼体粗脂肪含量最高, 显著高于其他各组($P<0.05$)。在越冬期(2016年12月04日至2017年3月23日, 第114至第223天, D223), 不同处理组异育银鲫增重率、特定生长率及肥满度随饲料淀粉水平升高呈现先上升后下降的趋势, 其中S13处理组异育银鲫增重率及肥满度显著高于其他各组($P<0.05$), S3和S13处理组特定生长率显著高于S23、S33和S43处理组($P<0.05$), 各处理异育银鲫鱼体粗蛋白和粗脂肪均无显著差异。在越冬后(2017年3月24日至2017年5月14日, 第224至第275天, D275), 各处理组异育银鲫增重率和特定生长率随饲料淀粉水平升高呈现上升趋势, S23、S33和S43处理组增重率显著高于S3及S13处理组($P<0.05$), 各处理组饲料效率无显著差异。各处理组异育银鲫鱼体蛋白及鱼体脂肪无显著性差异。在养成中后期(2017年5月15日至2017年7月20日, 第276至第340天, D340), 异育银鲫增重率及特定生长率随饲料碳水化合物水平的升高呈先上升后下降的趋势且S33处理组显著高于其他各处理组($P<0.05$), 各处理组饲料效率无显著差异。异育银鲫各处理组鱼体粗脂肪含量无显著差异, 鱼体蛋白含量随饲料淀粉水平的升高呈先上升后下降趋势, S33处理组最高(表3

和表 4)。

2.2 饲料淀粉对全养殖周期异育银鲫鱼“中科3号”后肠淀粉酶活性的影响

在幼鱼期(2016年8月18日至2016年10月17日, 第1至第63天, D63), 各处理组异育银鲫后肠淀粉酶活性无显著差异。在养成前期(2016年10月18日至2016年12月03日, 第64至第110天, D110), S3、S13和S23处理组异育银鲫后肠淀粉酶活性无显著差异, S43处理组后肠淀粉酶活性显著高于S33处理组($P<0.05$)。在越冬期(2016年12月04日至2017年3月23日, 第114至第223天, D223), 不同处理组异育银鲫后肠淀粉酶活性随饲料淀粉水平升高呈现先上

升后下降的趋势, S23处理组后肠淀粉酶活性最高。在越冬后(2017年3月24日至2017年5月14日, 第224至第275天, D275), 异育银鲫后肠淀粉酶活性随饲料淀粉水平的升高呈下降趋势, 在养成中后期(2017年5月15日至2017年7月20日, 第276至第340天, D340), 异育银鲫后肠淀粉酶活性随饲料淀粉水平的升高呈现先下降后上升的趋势。鱼体后肠淀粉酶活性在实验养成前期后高于幼鱼期(图 1)。

2.3 饲料淀粉对全养殖周期异育银鲫鱼“中科3号”血浆葡萄糖和血浆胆固醇的影响

在幼鱼期(2016年8月18日至2016年10月17日,

表 3 饲料淀粉水平对异育银鲫“中科3号”生长性能的影响
Tab. 3 Effects of dietary starch on growth performance of gibel carp

生长阶段 Growth stage	饲料Diet	生长指标Growth Index						
		初始体重 ¹ IBW (g)	终末体重 ² FBW (g)	增重率 ³ WGR (%)	摄食率 ⁴ FR (%BW/d)	饲料效率 ⁵ FE (%)	特定生长率 ⁶ SGR (%/d)	肥满度 ⁷ CF (g/cm ³)
D63	S3	12.00±0.08	77.25±2.55 ^a	540.62±44.83 ^a	2.38±0.03 ^b	97.07±2.53 ^a	2.96±0.03 ^a	2.80±0.08 ^a
	S13	12.00±0.06	75.45±4.16 ^a	528.72±47.98 ^a	2.25±0.07 ^b	102.36±5.38 ^a	2.92±0.04 ^a	3.02±0.08 ^a
	S23	12.00±0.09	94.14±3.53 ^c	684.43±39.35 ^c	1.96±0.08 ^a	125.28±6.19 ^b	3.27±0.03 ^c	3.31±0.06 ^b
	S33	12.00±0.06	86.36±1.56 ^b	619.69±33.55 ^b	2.18±0.12 ^{ab}	106.13±3.64 ^a	3.13±0.01 ^b	2.96±0.11 ^a
	S43	12.00±0.07	90.94±3.69 ^{bc}	624.51±31.80 ^{bc}	2.27±0.08 ^b	111.09±6.76 ^{ab}	3.21±0.03 ^{bc}	3.08±0.08 ^{ab}
D110	S3	76.58±1.34 ^{ab}	90.39±0.29 ^a	18.83±2.29 ^a	1.49±0.08	23.99±2.01 ^a	0.37±0.04 ^a	2.45±0.09 ^a
	S13	68.76±0.67 ^a	87.78±2.04 ^a	25.59±2.34 ^b	1.46±0.09	33.34±3.08 ^b	0.48±0.04 ^b	2.80±0.04 ^b
	S23	93.80±4.96 ^c	111.07±3.02 ^c	13.89±1.23 ^a	1.39±0.03	20.23±1.07 ^a	0.28±0.02 ^a	2.59±0.03 ^{ab}
	S33	86.02±4.61 ^{bc}	95.31±6.15 ^{ab}	15.82±0.48 ^a	1.43±0.02	21.38±0.61 ^a	0.31±0.01 ^a	2.66±0.14 ^{ab}
	S43	90.62±1.73 ^c	103.53±8.42 ^{bc}	14.64±2.53 ^a	1.41±0.02	20.59±1.59 ^a	0.29±0.04 ^a	2.73±0.08 ^{ab}
D223	S3	92.56±1.62 ^{ab}	99.02±1.58 ^a	9.47±1.09 ^a	—	—	—	2.54±0.04 ^a
	S13	87.37±0.98 ^a	105.45±1.26 ^a	22.65±3.26 ^b	—	—	—	3.48±0.16 ^d
	S23	102.11±4.49 ^b	120.96±3.17 ^c	9.12±1.14 ^a	—	—	—	3.17±0.08 ^c
	S33	101.33±5.57 ^b	104.88±1.39 ^a	6.29±1.01 ^a	—	—	—	2.84±0.01 ^b
	S43	99.17±4.58 ^{ab}	114.36±2.57 ^b	6.46±0.88 ^a	—	—	—	2.89±0.07 ^b
D275	S3	92.56±1.62 ^{ab}	133.9±5.8 ^a	38.02±12.16 ^a	1.25±0.03	48.51±6.31	0.69±0.05 ^a	—
	S13	87.37±0.98 ^a	141.42±4.84 ^{ab}	46.87±6.70 ^{ab}	1.26±0.05	48.42±9.70	0.71±0.02 ^{ab}	—
	S23	102.11±4.49 ^b	163.44±2.28 ^c	56.45±4.19 ^b	1.33±0.09	50.73±5.64	0.81±0.06 ^{bc}	—
	S33	101.33±5.57 ^b	156.55±5.31 ^{bc}	49.26±3.54 ^b	1.40±0.26	48.47±6.32	0.73±0.02 ^{ab}	—
	S43	99.17±4.58 ^{ab}	170.39±5.32 ^c	53.47±7.29 ^b	1.27±0.05	53.33±4.34	0.86±0.02 ^c	—
D340	S3	132.7±5.37 ^a	186.41±8.25 ^a	40.41±2.42 ^a	1.70±0.02 ^{bc}	31.16±0.67	0.65±0.02 ^a	2.68±0.06
	S13	141.16±5.02 ^a	219.07±2.48 ^b	53.19±5.42 ^b	1.74±0.01 ^c	32.63±1.51	0.82±0.06 ^b	2.54±0.21
	S23	169.3±7.15 ^b	268.05±5.59 ^c	58.74±3.37 ^b	1.67±0.07 ^{ab}	45.88±2.66	0.89±0.04 ^b	2.74±0.11
	S33	146.17±1.9 ^a	253.86±7.59 ^c	87.36±5.85 ^c	1.57±0.03 ^a	50.73±6.75	1.05±0.01 ^c	2.93±0.19
	S43	168.83±3.4 ^a	261.57±7.92 ^c	63.95±2.71 ^b	1.65±0.03 ^{ab}	48.34±6.43	0.85±0.05 ^b	2.96±0.08

注: 表中数值为平均值±标准误, 相同时间点同列数值有不同上标英文字母表示差异显著($P<0.05$)。Values are presented as mean±SE; Values in the same index with different superscripts are significantly different ($P<0.05$); ¹初始体重 IBW (g). Initial body weight; ²终末体重 FBW (g). Final body weight; ³增重率 WGR (%)=100×(终末体重-初始体重)/初始体重, Weight gain rate (%)=100×(FBW-IBW)/IBW; ⁴摄食率 FR(%BW/d)=100×干物质摄食量/[天数×(初始体重+终末体重)/2], Feeding rate(%BW/d)=100×dry feed intake/[days×(IBW+FBW)/2]; ⁵饲料效率 FE(%)=(100×鱼体平均增重)/平均摄食量 Feed efficiency (%)=(100×fresh body weight gain)/dry feed intake; ⁶特定生长率 SGR (%/d)=100×[ln(终末体重)-ln(初始体重)]/天数, Specific growth rate(%/d)=100×[ln (IBW)-ln (FBW)]/days; ⁷肥满度 CF(g/cm³)=100×体重/体长³ Condition factor(CF; g/cm³)=100×body weight/(body length)³

表 4 饲料淀粉水平对异育银鲫鱼体基本组分的影响(% 湿重)

Tab. 4 Effects of dietary starch on body composition of gibel carp (% wet weight)

生长阶段 Growth stage	饲料 Diet	鱼体组分Fish body composition			
		水分 Moisture	灰分Ash	粗蛋白Crude protein	粗脂肪 Crude lipid
D63	S3	71.62±1.25 ^{ab}	4.35±0.16 ^{ab}	16.71±0.76	5.33±0.30 ^a
	S13	66.94±2.47 ^a	5.02±0.22 ^b	18.42±1.41	5.53±0.06 ^a
	S23	70.27±3.77 ^{ab}	4.18±0.49 ^{ab}	15.19±2.71	7.20±0.81 ^b
	S33	75.06±1.48 ^b	3.63±0.28 ^a	14.75±0.90	6.54±0.32 ^{ab}
	S43	69.88±1.26 ^{ab}	4.29±0.15 ^{ab}	17.23±0.77	7.03±0.45 ^b
D110	S3	71.57±0.24 ^{ab}	4.41±0.06	17.54±0.59	6.45±0.43 ^a
	S13	71.94±0.45 ^b	4.36±0.09	16.84±0.47	9.53±0.39 ^c
	S23	70.34±0.94 ^a	4.31±0.11	17.62±0.63	6.96±0.39 ^{ab}
	S33	71.17±0.08 ^{ab}	4.30±0.12	17.18±0.37	8.25±0.49 ^b
	S43	70.74±0.25 ^{ab}	4.32±0.06	17.85±0.10	7.35±0.29 ^{ab}
D223	S3	71.96±0.21 ^a	5.28±0.55	15.91±1.71	4.93±0.72
	S13	72.32±0.41 ^{ab}	5.71±0.08	17.42±0.16	5.11±0.26
	S23	73.10±0.34 ^b	5.45±0.15	17.49±0.20	4.75±0.50
	S33	73.2±0.27 ^b	5.81±0.32	17.40±0.05	5.32±0.55
	S43	72.87±0.18 ^{ab}	5.64±0.06	17.88±0.15	4.56±0.34
D275	S3	72.14±0.25	3.79±0.51 ^b	17.28±0.34	5.54±0.16
	S13	72.76±0.11	3.19±0.51 ^{ab}	17.36±1.02	5.51±0.31
	S23	72.55±0.57	2.12±0.11 ^a	16.01±0.65	3.85±0.11
	S33	71.95±0.30	2.56±0.40 ^{ab}	17.53±0.15	4.61±0.18
	S43	71.33±1.06	2.23±0.14 ^a	17.34±0.77	5.97±0.44
D340	S3	69.56±0.48 ^{ab}	4.81±0.16	15.96±1.15 ^a	6.14±0.85
	S13	71.91±1.79 ^b	4.43±0.31	17.86±0.21 ^{ab}	5.84±0.48
	S23	67.88±0.22 ^a	4.72±0.11	18.91±0.33 ^{ab}	7.30±0.28
	S33	69.10±0.22 ^{ab}	4.50±0.18	19.94±1.89 ^b	6.55±0.27
	S43	69.08±0.52 ^{ab}	5.10±0.44	19.09±0.53 ^{ab}	7.13±0.84

注: 表中数值为平均值±标准误, 相同时间点同列有不同上标英文字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Values are presented as mean±SE. Values in the same index with different superscripts are significantly different ($P<0.05$)

第1至第63天, D63), 鱼体血浆葡萄糖浓度随饲料淀粉水平升高呈先上升后不变的趋势, 饲料碳水化合物水平高于23%处理组的异育银鲫血浆葡萄糖浓度显著高于饲料淀粉水平低于23%处理组($P<0.05$), 异育银鲫血浆胆固醇浓度无显著差异。在养成前期(2016年10月18日至2016年12月03日, 第64至第110天, D110), 各处理组异育银鲫血浆葡萄糖及血浆胆固醇含量无显著差异。在越冬后(2017年3月24日至2017年5月14日, 第224至第275天, D275), 异育银鲫血浆葡萄糖浓度随淀粉水平的升高呈先上升后下降趋势, S23处理组异育银鲫血浆葡萄糖浓度最高, 各处理组血浆胆固醇浓度无显著差异。在养成中后期(2017年5月15日至2017年7月20日, 第

276至第340天, D340), 各处理组异育银鲫血浆葡萄糖浓度无显著差异, 血浆胆固醇浓度随饲料淀粉的升高呈现先上升后下降的趋势, S23处理组血浆胆固醇浓度最高(图 2)。

2.4 饲料淀粉对全养殖周期异育银鲫鱼“中科3号”肝/肌糖原的影响

在越冬后(2017年3月24日至2017年5月14日, 第224至第275天, D275), 各处理组肝糖原无显著差异, S43处理组肌糖原含量最高, 显著高于S33处理组($P<0.05$)。在养成中后期(2017年5月15日至2017年7月20日, 第276至第340天, D340), 各处理组异育银鲫肝和肌糖原含量无显著差异(图 3)。

2.5 饲料淀粉对全养殖周期异育银鲫鱼“中科3号”糖代谢基因表达的影响

在实验幼鱼期(2016年8月18日至2016年10月17日, 第1至第63天, D63), 异育银鲫肝脏 $glut2$ 、 hk 和 $pepck$ mRNA的相对表达量随饲料淀粉水平增加呈现上升趋势, $g6pc$ mRNA相对表达量随饲料淀粉水平上升呈下降趋势, 但各处理组间无显著性差异。S43处理组异育银鲫 gk mRNA相对表达量显著高于S3和S23处理组($P<0.05$)。在越冬后(2017年3月24日至2017年5月14日, 第224至第275天, D275), 各处理组异育银鲫 hk 和 $g6pc$ mRNA相对表达量无显著差异, $glut2$ 、 gk 和 $pepck$ mRNA相对表达量随饲料淀粉水平的升高呈上升趋势, S43处理组显著高于其他各组($P<0.05$)。在养成中后期(2017年5月15日至2017年7月20日, 第276至第340天, D340), 异育银 $glut2$ 、 hk 及 gk mRNA相对表达量随饲料淀粉水平的升高呈现上升趋势, S43处理组相对表达量水平显著高于其他各处理组($P<0.05$), 各处理组异育银鲫 $pepck$ 相对表达量水平无显著差异, 随饲料淀粉水平的升高呈下降趋势, 但各处理组差异不显著(图 4)。

3 讨论

对鱼类利用碳水化合物能力较低机制的探究主要围绕2个方面, 一是消化道长短程度及淀粉酶分泌量较少; 二是胰岛素和糖代谢酶不能产生适应性调节^[19, 20]。鱼类生长、生理状况、环境温度和溶氧等均对碳水化合物的利用能力和机制产生一定的影响。

3.1 饲料淀粉对全养殖周期异育银鲫鱼“中科3号”后肠淀粉酶活性的影响

鱼类淀粉酶主要分布于肠道组织, 后肠淀粉酶活性最高。有研究表明, 多种鱼类糖酶活性随鱼类生长波动较大, 淀粉酶活性随鱼体生长呈阶段性上

升趋势且会出现一个峰值^[21-26]。本实验研究也出现相似结果, 幼鱼期D63异育银鲫后肠淀粉酶活性水平较低且不随饲料淀粉的变化而变化, 自养成前期D110之后异育银鲫后肠淀粉酶活性及敏感度显著增强。

3.2 饲料淀粉对全养殖周期异育银鲫鱼“中科3号”糖代谢酶活性及基因表达的影响

鱼类摄食含淀粉饲料后血糖浓度升高, 糖转运载体将血液中的葡萄糖转入组织中进行物质转化 and 能量循环^[27, 28]。肝脏是鱼体进行糖代谢的主要

器官, 糖代谢过程主要包括糖酵解和糖异生, 葡萄糖经过己糖激酶(HK)、葡萄糖激酶(GK)、6-磷酸果糖激酶(PFK)和丙酮酸激酶(PK)等糖酵解关键酶的作用转化为丙酮酸进入三羧酸循环从而转化为脂肪, 脂肪经过三羧酸循环形成的丙酮酸也可通过丙酮酸羧化酶(PCK)、磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶(PEPCK)、果糖-1, 6-二磷酸酶(FBPase)和葡糖-6-磷酸酶(G6PC)等糖异生关键酶的作用重新合成葡萄糖^[29-32]。幼鱼期D63异育银鲫 $glut2$ mRNA相对表达量无显著差异, 其他阶段异育银鲫 $glut2$ mRNA

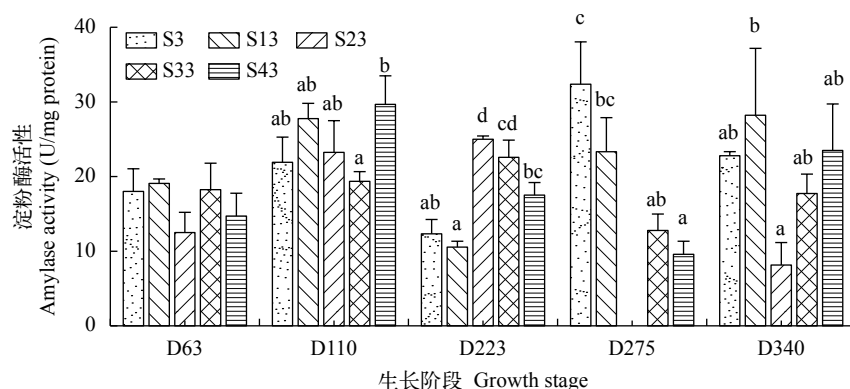


图1 饲喂不同淀粉水平饲料后异育银鲫后肠淀粉酶活性的变化

Fig. 1 Amylase activities in hindgut of gibel carp fed with different starch diets

图中值为平均值±标准误, $n=8$, 不同字母表示不同饲料碳水化合物处理组差异显著($P<0.05$), 下图同

Values are Means±SE, $n=8$. Different letters show significant differences among different starch diets ($P<0.05$). The same applies below

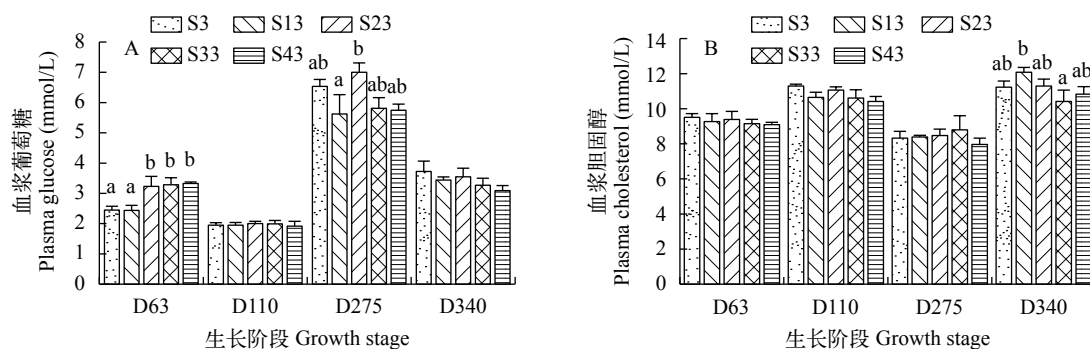


图2 饲喂不同碳水化合物水平饲料异育银鲫血糖浓度(A)和血浆胆固醇(B)浓度变化

Fig. 2 Plasma glucose (A) and cholesterol (B) of gibel carp fed with different starch diets

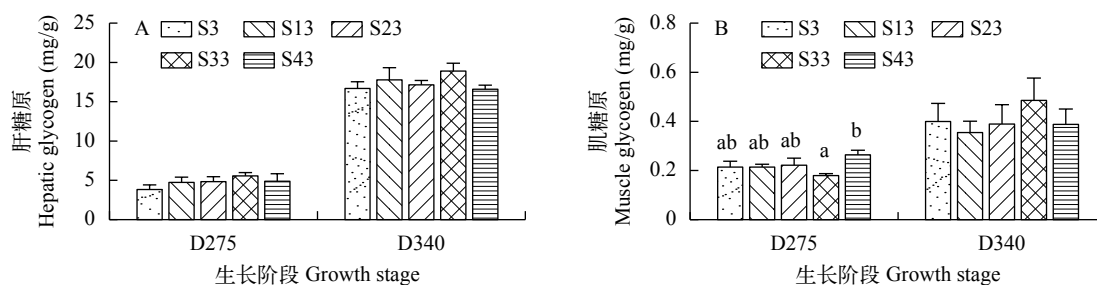


图3 饲喂不同淀粉水平饲料后异育银鲫肝糖原(A)和肌糖原(B)的变化

Fig. 3 The levels of hepatic glycogen (A) and muscle glycogen (B) in gibel carp fed with different starch diets

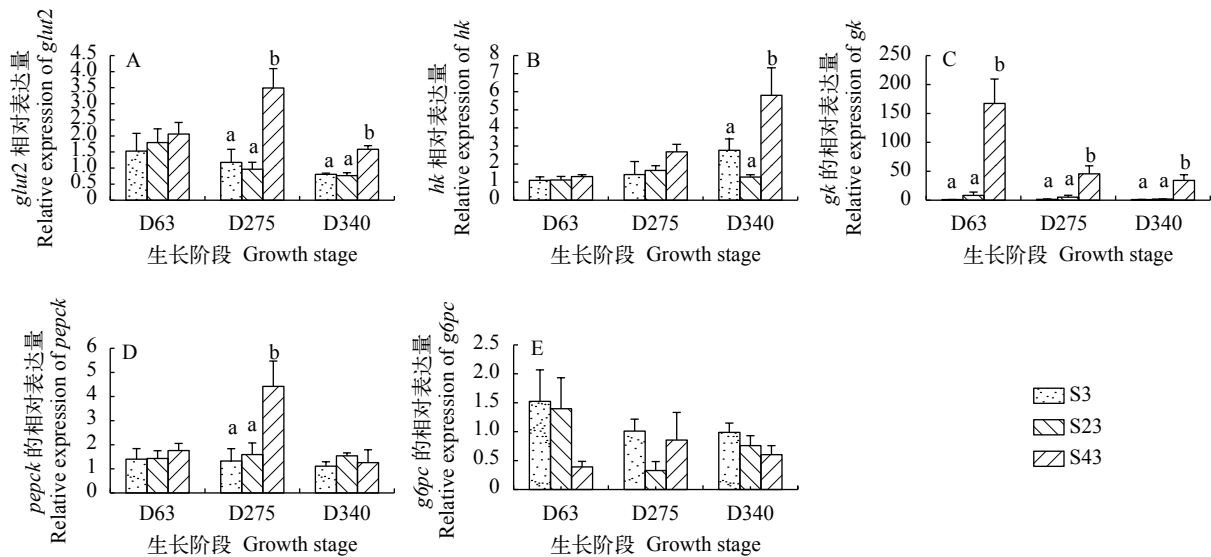


图4 饲喂不同淀粉水平饲料后异育银鲫肝脏糖代谢相关基因mRNA相对表达量的变化

Fig. 4 Relative expression of hepatic glucose metabolism related genes of gibel carp fed with different starch diets

A. *glut2*的相对表达量; B. *hk*的相对表达量; C. *gk*的相对表达量; D. *pepck*的相对表达量; E. *g6pc*的相对表达量

A. Relative expression of *glut2*; B. Relative expression of *hk*; C. Relative expression of *gk*; D. Relative expression of *pepck*; E. Relative expression of *g6pc*

相对表达量水平随饲料淀粉水平升高而升高。各生长阶段异育银鲫糖酵解的敏感度高于糖异生代谢。

3.3 全养殖周期异育银鲫“中科3号”的糖需求

对于鱼类全养殖周期不同阶段糖需求及糖代谢差异的整体研究非常少。本实验结果显示不同生长阶段异育银鲫对饲料淀粉的需求差异较大,越冬后异育银鲫糖利用能力显著高于越冬前。其中幼鱼期D63异育银鲫适宜饲料碳水化合物水平为23%;养成前期D110异育银鲫适宜饲料淀粉水平减为13%。越冬后D275组异育银鲫整体代谢旺盛,43%淀粉组生长最好;而养成中后期D340异育银鲫饲料淀粉需求则再次降到33%。

在本研究中,异育银鲫越冬阶段没有投喂饲料,鱼体没有出现体重降低的现象是由于本实验在长江故道江段上进行,而异育银鲫是杂食性鱼类,在越冬期摄食了水体中藻类等生物性饵料,所以没有表现出越冬期体重下降,此结果与实验室前期在相同地点的异育银鲫越冬期生长结果相一致^[33]。越冬期异育银鲫生长表现变化趋势与养成前期变化趋势相一致,和越冬前生长较好的鱼体在摄食上占有优势紧密相关,进而在越冬期间表现出一致的生长优势。

综上所述,幼鱼期异育银鲫可能由于鱼体代谢系统发育不完善,肠道淀粉酶活性及糖代谢各环节对饲料淀粉水平变化应答不敏感进而导致利用饲料淀粉的能力较弱,S23处理组生长表现最好。养成前期异育银鲫机体功能更为完善,糖代谢应答机

制敏感,其糖利用能力依然不强可能是由于季节变化带来的环境胁迫所致。幼鱼期和养成前期鱼体生长表现和脂肪积累趋势相一致,推测是这一阶段鱼体生长快速所致。越冬后阶段异育银鲫由于生长代偿作用,异育银鲫整体代谢水平较高,糖代谢应答机制敏感且糖利用能力较强,S43处理组生长表现最好。在养成中后期异育银鲫鱼体机能趋近完善,对饲料碳水化合物的利用能力较高,其生长性能和蛋白积累趋势相一致均在S33处理组表现最好,暗示淀粉通过其他途径产生了蛋白节约的作用。异育银鲫生长各阶段糖酵解调节机制敏感,糖异生调节不敏感,其具体原因有待进一步探究。

参考文献:

- [1] Anderson J, Jackson A J, Matty A J, *et al.* Effects of dietary carbohydrate and fibre on the tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn.) [J]. *Aquaculture*, 1984, **37**(4): 303-314.
- [2] Hemre G I, Mommsen T P, Krogdahl A. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2002, **8**(3): 175-194.
- [3] Moon T W. Glucose intolerance in teleost fish: Fact or fiction [J]? *Comparative Biochemistry and Physiology Part B Biochemistry and Molecular Biology*, 2001, **129**(2-3): 243-249.
- [4] Wilson R P. Utilization of dietary carbohydrate by fish [J]. *Aquaculture*, 1994, **124**(1-4): 67-80.
- [5] Hilton J W, Plisetskaya E M, Leatherland J F. Does oral 3,5,3'-triiodo-L-thyronine affect dietary glucose utiliza-

- tion and plasma insulin levels in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *Fish Physiology & Biochemistry*, 1987, **4**(3): 113-120.
- [6] Kirchner S J, Kaushik S, Panse R. Effect of partial substitution of dietary protein by a single gluconeogenic dispensable amino acid on hepatic glucose metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Comparative Biochemistry & Physiology Part A Molecular & Integrative Physiology*, 2003, **134**(2): 337-347.
- [7] Mommsen T P, Plisetzkaya E M. Insulin in fishes and agnathans: history, structure and metabolic regulation [J]. *Reviews in Aquatic Science*, 1991(4): 225-259.
- [8] Wang L. Analysis of gut microflora in early developmental stage and its relationship with immunity in common carp, *Cyprinus carpio* [D]. Jinan: Shandong Normal University, 2017: 64-72. [王蕾. 鲤鱼早期发育阶段肠道菌群的分析及其免疫相关性研究 [D]. 济南: 山东师范大学, 2017: 64-72.]
- [9] Luo Y G, Chen K C, Zhu X P, et al. Histological studies on development of the digestive system of *Scortum barcoo* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, **34**(2): 264-270. [骆豫江, 陈昆慈, 朱新平, 等. 高体革鲃消化道发生的组织学观察 [J]. *水产学报*, 2010, **34**(2): 264-270.]
- [10] Sundby A, Eliassen K A, Refstie T, et al. Plasma levels of insulin, glucagon and glucagon-like peptide in salmonids of different weights [J]. *Fish Physiology & Biochemistry*, 1991, **9**(3): 223-230.
- [11] Li X S. Dietary carbohydrate utilization in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*), gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III) and black carp (*Mylopharyngodon piceus*) [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2014: 47-76. [李向松. 草鱼、异育银鲫和青鱼对饲料中碳水化合物利用的研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2014: 47-76.]
- [12] He J X, Cui K, Xu X Y, et al. Optimal dietary requirements of protein, lipid and carbohydrate for juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2014, **41**(1): 30-37. [何吉祥, 崔凯, 徐晓英, 等. 异育银鲫幼鱼对蛋白质、脂肪及碳水化合物需求量的研究 [J]. *安徽农业大学学报*, 2014, **41**(1): 30-37.]
- [13] Tan Q S, Wang F, Xie S Q, et al. Effect of high dietary starch levels on the growth performance, blood chemistry and body composition of gibel carp (*Carassius auratus* var. *gibelio*) [J]. *Aquaculture Research*, 2009, **40**(9): 1011-1018.
- [14] Tian L X, Liu Y J, Yang H J, et al. Effects of different dietary wheat starch levels on growth, feed efficiency and digestibility in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Aquaculture International*, 2012, **20**(2): 283-293.
- [15] Hu Y, Chen Y F, Zhang D H, et al. Effects of different dietary carbohydrate and protein levels on growth, intestinal digestive enzymes and serum indexes in large-size grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, **42**(5): 156-165. [胡毅, 陈云飞, 张德洪, 等. 不同碳水化合物和蛋白质水平膨化饲料对大规模草鱼生长、肠道消化酶及血清指标的影响 [J]. *水产学报*, 2018, **42**(5): 156-165.]
- [16] Wang D Z, Song T F, Du H B, et al. The effect of protein and carbohydrate contents in feeds on the growth of black carp fingerlings [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1984, **8**(1): 9-17. [王道尊, 宋天复, 杜汉斌, 等. 饲料中蛋白质和糖的含量对青鱼鱼种生长的影响 [J]. *水产学报*, 1984, **8**(1): 9-17.]
- [17] Lupatsch I, Kissil G W. Feed formulations based on energy and protein demands in white grouper (*Epinephelus aeneus*) [J]. *Aquaculture*, 2005, **248**(1-4): 83-95, 173.
- [18] Lupatsch I, Kissil G W, Sklan D, et al. Energy and protein requirements for maintenance and growth in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1998(4): 165-173.
- [19] Furuichi M, Yone Y. Changes in activities of hepatic enzymes related to carbohydrate metabolism of fishes in glucose and insulin-glucose tolerance tests. [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1982, **48**(3): 463-466.
- [20] Spannhof L, Plantikow H. Studies on the carbohydrate digestion in rainbow trout [J]. *Aquaculture*, 1983, **30**(1-4): 95-108.
- [21] Fish G R. The comparative activity of some digestive enzymes in the alimentary canal of Tilapia and perch [J]. *Hydrobiologia*, 1960, **15**(1): 161-178.
- [22] Wu T T, Zhu X M. Studies on the activity of digestive enzymes in mandarin fish, black carp, grass carp, common carp, crucian carp and silver carp [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1994, **1**(2): 10-17. [吴婷婷, 朱晓鸣. 鳊鱼, 青鱼, 草鱼, 鲤, 鲫, 鲢消化酶活性的研究 [J]. *中国水产科学*, 1994, **1**(2): 10-17.]
- [23] Beamish F W H, Hilton J W, Niimi E, et al. Dietary carbohydrate and growth, body composition and heat increment in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1986, **1**(2): 85-91.
- [24] Cahu C L, Infante J L Z. Early weaning of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae with a compound diet: Effect on digestive enzymes [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 1994, **109**(2): 213-222.
- [25] Kuz'mina V V, Golovanova I L, Izvekova G. Influence of temperature and season on some characteristics of intestinal mucosa carbohydrases in six freshwater fishes [J]. *Comparative Biochemistry & Physiology Part B: Biochemistry & Molecular Biology*, 1996, **113**(2): 255-260.
- [26] Cai K X, Wang C G, Chen P J, et al. Ontogenetic development of digestive enzyme activities in larval and juvenile *Plectorhynchus cinctus* [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2000, **19**(2): 201-204. [蔡克瑕, 王重刚, 陈品健, 等. 花尾胡椒鲷仔稚鱼期消化酶活性

- 的变化 [J]. 台湾海峡, 2000, **19**(2): 201-204.]
- [27] Ni S W, Gui Y M. A comparative research on activities among grass carp, common carp, silver carp, bighead carp, *Tilapia nilotica* [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 1992(1): 24-31. [倪寿文, 桂远明. 草鱼、鲤、鲢、鳙和尼罗非鲫淀粉酶的比较研究 [J]. 大连海洋大学学报, 1992(1): 24-31.]
- [28] Kenneth Z. Whole body glucose metabolism [J]. *American Journal of Physiology*, 1999, **276**(3): 409-426.
- [29] Borrebaek B, Christophersen B. Hepatic glucose phosphorylating activities in perch (*Perca fluviatilis*) after different dietary treatments [J]. *Comparative Biochemistry & Physiology Part B Biochemistry & Molecular Biology*, 2000, **125**(3): 387-393.
- [30] 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.]
- [31] Mithieux G. Role of glucokinase and glucose-6 phosphatase in the nutritional regulation of endogenous glucose production [J]. *Reproduction Nutrition Development*, 1998, **36**(4): 357-362.
- [32] Metón I, Fernández F, Baanante I V. Short- and long-term effects of refeeding on key enzyme activities in glycolysis-gluconeogenesis in the liver of gilthead seabream (*Sparus aurata*) [J]. *Aquaculture*, 2003, **225**(1): 99-107.
- [33] Yang B Y, Wang C C, Tu Y Q, *et al.* Effects of repeated handling and air exposure on the immune response and the disease resistance of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) over winter [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2015, **47**(2): 933-941.

A LONG-TERM CULTURE OF GIBEL CARP (*CARASSIUS AURATUS GIBELIO*) IN NET CAGES FOR 340 DAYS: EFFECTS OF DIETARY STARCH ON GROWTH AND GLUCOSE METABOLISM

MEI Ling-Yu^{1,2}, HAN Dong^{1,3}, WU Li-Yun^{1,2}, GUO Wei^{1,2}, LIU Hao-Kun¹, JIN Jun-Yan¹,
YANG Yun-Xia¹, ZHU Xiao-Ming^{1,3} and XIE Shou-Qi^{1,3}

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Hubei Engineering Research Center for Aquatic Animal Nutrition and Feed, Wuhan 430072, China)

Abstract: To study the effects of dietary carbohydrate on growth and glucose metabolism of gibel carp, 5 different diets with 3% (S3), 13% (S13), 23% (S23), 33% (S33) and 43% (S43) starch were formulated for a 340-day trial with 5 sampling times of day 63 (D63, the juveniles fish stage), day 110 (D110, the prophase cultivation period), day 223 (D223, overwintering stage), day 275 (D275, after overwintering stage) and day 340 (D340, the middle and late cultivation period). The results showed that gibel carp at different developmental stages had various starch utilization ability and glucose metabolism. The hindgut amylase activity and sensitiveness were low in the juveniles gibel carp and then increased from the prophase cultivation period. The activities of amylase in hindgut changed with the increased dietary starch level after D63. The GLUT2 mRNA level in gibel carp at D63 among groups were similar, while it increased with the increased dietary starch levels at D110, D275 and D340. The glycolysis was higher than gluconeogenesis in gibel carp at all stages. High glucose-induced lipogenesis was found in gibel carp at D63 and D110. The optimum dietary starch level was 23% for juvenile gibel carp at D63. The dietary starch requirement decreased to 13% for gibel carp at D113. After overwintering of D275, gibel carp showed a compensatory ability to utilize starch with the best growth performance in diet with 43% of dietary starch. At D340, gibel carp exhibited the best growth performance in 33% dietary starch group. The present results indicated that gibel have various abilities of the requirement and utilization of dietary starch at different developmental stages.

Key words: *Carassius auratus gibelio*; Whole culture stage; Dietary starch; Requirement; Glucose metabolism; Growth performance