

· 研究简报 ·

青鱼和草鱼葡萄糖耐量的比较研究

黄鹤忠, 丁磊, 宋学宏, 王永玲, 杨彩根

(苏州大学 农业科技学院, 苏州大学 水产研究所, 江苏 苏州 215006)

摘要: 选用典型的淡水肉食性鱼类青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*) 和草食性鱼类草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 为对象进行糖耐量初步实验。青鱼和草鱼的体重分别为 (63 ± 3) g 和 (46 ± 2) g, 在实验室适应 4 周后禁食 24 h, 以高剂量 (H) 1.67 g/(kg 体重) 和低剂量 (L) 0.42 g/(kg 体重) 灌喂葡萄糖, 比较研究其代谢反应。结果显示, 2 种鱼灌喂不同剂量葡萄糖后都出现持久的高血糖, 青鱼血糖含量高于灌喂相同剂量的草鱼, 灌喂剂量越高, 血糖含量越高。草鱼组及青鱼 L 组在灌喂葡萄糖后血浆总氨基酸和甘油三酯先降后升, 但青鱼 H 组口服葡萄糖后血浆总氨基酸和甘油三酯先升高。青鱼 H 组和草鱼 H 组在灌喂葡萄糖后最初 1 h 和 2 h 肝糖原含量分别下降至 2.62% 和 5.46%。实验结果提示, 青鱼糖耐量比草鱼低; 高糖负荷后两种鱼的内分泌调节规律可能不同; 较高葡萄糖负荷还引起应激反应, 应激反应的强弱可能与糖耐量大小呈反比, 与负荷剂量呈正比。

关键词: 青鱼; 草鱼; 糖耐量; 糖代谢**中图分类号:** S963 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8737-(2005)04-0496-05

糖是三大类能量营养素中最廉价的饲料能源, 适当提高饲料糖水平可提高蛋白质的利用率, 节约饲料蛋白^[1]。但鱼类对糖的利用能力有限, 长期摄入高糖饲料会导致脂肪在肝脏和肠系膜大量沉积, 发生脂肪肝, 使肝脏功能削弱, 肝解毒能力下降, 鱼体呈病态型肥胖^[1]。糖耐量试验结果一致表明, 鱼类在口服葡萄糖后表现为持久的高血糖^[2]。因此, 鱼类被看成是先天性的糖尿病体质。

青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*) 和草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 是中国四大家鱼中品质比较优良的两种鱼类, 其中, 青鱼是典型的肉食性鱼类, 草鱼是典型的草食性鱼类。一般认为草食性鱼类对糖的利用能力比肉食性鱼类强, 但至今未见有关糖耐量比较研究的报道。本实验以这两种鱼为材料, 比较研究其灌喂不同剂量的葡萄糖后体内血糖、总氨基酸、甘油三酯及肝糖原的变化规律, 以鱼类血液生理和生化指标探讨不同食性鱼类糖耐量的强弱, 为揭示鱼类糖代谢调节机制提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼及饲养管理

实验用青鱼种和草鱼种购自苏州市相城区水产苗种场, 青鱼体重 (63 ± 3) g, 草鱼体重 (46 ± 2) g。在室内 PVC 水族箱中暂养 4 周以适应实验室环境。水族箱容量 250 L, 每种

鱼暂养 10 箱, 每箱放养 20 尾, 全日充气增氧, 单体循环过滤, 水温控制在 (25 ± 1) °C, 每天投喂商品饲料 2 次, 饲料粗蛋白为 32%、粗脂肪 5%、粗灰分 14%、粗纤维 6.5%、钙 2.0%、磷 1.0%, 日投饲率 4% 左右, 基本达到饱食状态。

1.2 取样及分析

实验鱼在实验室适应性饲养 4 周后, 禁食 24 h, 然后灌喂葡萄糖溶液, 一组剂量为常用糖耐量试验剂量 1.67 g/(kg 体重)^[3], 记为高剂量组 (H 组); 另一组为其 1/4 剂量, 即 0.42 g/(kg 体重), 记为低剂量组 (L 组)。根据灌喂剂量的高 (H) 和低 (L) 分别将实验鱼分为青 H 组、青 L 组、草 H 组和草 L 组。在灌喂前 (0 h) 及灌喂后 1 h、2 h、3 h、4 h、6 h、8 h 和 10 h 分别取 10 尾实验鱼抽血并取其肝胰脏, 分离血浆后测定血糖、总氨基酸和甘油三酯等。肝胰脏剔除脂肪、PBS 洗涤后用于测定肝糖原含量。

血糖用葡萄糖氧化酶-过氧化物酶终点比色法测定, 试剂盒由卫生部上海生物制品研究所生产。甘油三酯用甘油磷酸氧化酶法测定, 试剂盒由上海荣盛生物技术有限公司生产。总氨基酸用 Cu^{2+} 络合物法测定, 试剂盒由南京建成生物工程研究所生产。肝糖原测定用碱消化法^[4]。

1.3 数据统计分析

数据用 SPSS10.0 (Statistical Package for Social Sciences) 统计软件进行方差分析 (ANOVA) 和均值多重比较分析法 (LSD 法) 检验各组间的差异显著性^[5]。各组各时间点的样

收稿日期: 2004-05-27; 修订日期: 2004-10-02.

基金项目: 江苏省水产三项更新项目 (PJ2002-33); 江苏省星火计划项目 (X2002122).

作者简介: 黄鹤忠 (1962-), 男, 副教授, 主要从事营养和生态学研究. E-mail: suda-shui@163.com

品数均为10($n=10$),所有的结果均以平均值 \pm 标准差来表示。

2 结果与分析

2.1 灌喂不同剂量葡萄糖后血糖含量的变化规律

2.1.1 青鱼 如图1所示,青H组与青L组在灌喂葡萄糖10h内血糖含量的总体趋势相同,均在3h内持续上升,然后逐渐下降,在各时间点青H组的血糖值均高于青L组。青H组的血糖峰值极显著高于青L组($P<0.01$)。在10h时青H组和青L组的血糖水平仍然分别极显著($P<0.01$)和显著($P<0.05$)高于空腹水平。

2.1.2 草鱼 草H组血糖的变化趋势与青鱼组基本相同(图1),但草L组在灌喂葡萄糖1h后血糖值不再升高,3h后缓慢下降。在3h时,草H组血糖值显著高于草L组($P<0.05$),草H组和草L组灌喂葡萄糖后8h的血糖值均降至与空腹时无显著差异的水平($P>0.05$)。

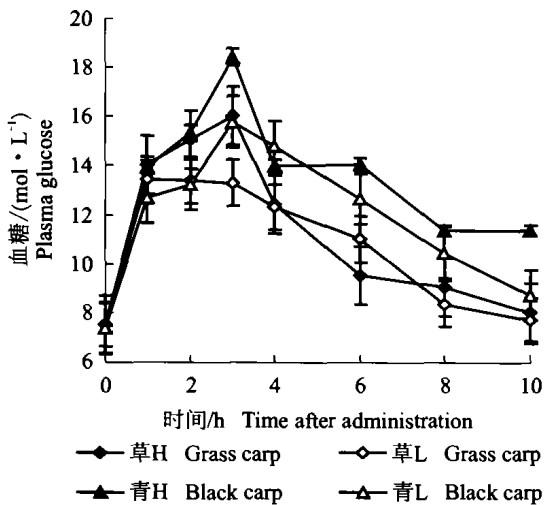


图1 青、草鱼灌喂葡萄糖后血糖变化规律

Fig.1 Changes of plasma glucose in black carp and grass carp after oral glucose administration

2.1.3 青鱼与草鱼血糖含量的比较 两种鱼灌喂不同剂量葡萄糖后其血糖在短时间内都有大幅度升高。灌喂后1h各组鱼血糖水平与空腹水平差异极显著($P<0.01$)。除草L组在灌喂后1h血糖值不再继续升高外,其余3组的血糖值均继续升高直至灌喂后3h的最高值。青H组血糖峰值显著高于草H组($P<0.05$),并极显著高于草L组及青L组($P<0.01$)。从总体情况看,灌喂后10h内,各时间点的青鱼血糖水平高于灌喂相同剂量的草鱼,同种鱼的高剂量组血糖水平高于低剂量组。

2.2 灌喂不同剂量葡萄糖后血浆总氨基酸含量的变化规律

2.2.1 青鱼 青H组在灌喂葡萄糖1h内总氨基酸含量快速升高至显著高于空腹水平($P<0.05$)并一直维持至10h(图2)。青L组在1h内总氨基酸含量则略有下降并低于空

腹水平,然后在2h时上升至显著高于空腹水平($P<0.05$),并一直持续到10h。在1h时青H组总氨基酸水平极显著高于青L组($P<0.01$),而2h以后青H组与青L组总氨基酸含量差异不显著($P>0.05$)。由此说明高低剂量的葡萄糖负荷均能引起青鱼血浆总氨基酸含量的持续升高,且剂量越高,其响应时间越短。

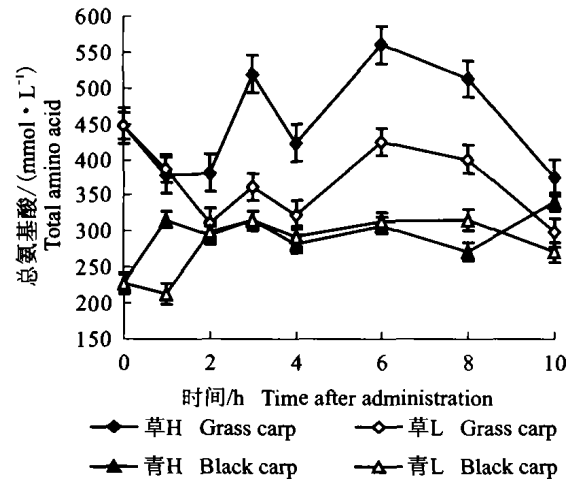


图2 青、草鱼灌喂葡萄糖后血浆总氨基酸的变化

Fig.2 Changes of total amino acid in black carp and grass carp after glucose administration

2.2.2 草鱼 草鱼H组和L组在灌喂不同剂量葡萄糖后血浆总氨基酸变化趋势相似,都在2h内下降,3h时上升,4h时又下降,6h时再一次升高,之后下降。但在灌喂后2~10h内各时间点草H组血浆总氨基酸含量均显著高于草L组($P<0.05$),且草H组分别在灌喂后3h和6h时血浆总氨基酸含量均显著高于空腹水平($P<0.05$),而草L组在灌喂后1~10h内血浆总氨基酸含量均显著低于空腹水平($P<0.05$)。由此可见,高剂量葡萄糖负荷会使草鱼短时间内血浆总氨基酸含量升高,而低剂量葡萄糖负荷会使草鱼在较长时间内血浆总氨基酸含量偏低。

2.2.3 青鱼与草鱼血浆总氨基酸含量的比较 如图2所示,青鱼空腹血浆总氨基酸水平低于草鱼,青鱼和草鱼在灌喂不同剂量葡萄糖后的变化规律有所不同。青H组和青L组分别在灌喂后1h和2h直至10h内血浆总氨基酸含量显著高于空腹水平($P<0.05$),而草H组和草L组则分别在灌喂后1~2h和10h以后血浆总氨基酸含量水平显著低于空腹水平($P<0.05$),只有草H组在3h、6h时显著高于空腹水平($P<0.05$)。

2.3 青、草鱼灌喂不同剂量葡萄糖后甘油三酯含量的变化规律

2.3.1 青鱼不同处理组间血浆甘油三酯含量的变化 青H组在葡萄糖负荷后1~2h血浆甘油三酯含量略有升高,然后逐渐下降(图3),至6~8h达最低值并显著低于空腹水平($P<0.05$)。青L组则在葡萄糖负荷后1~2h血浆甘油三

酯含量逐渐下降至最低值,且显著低于空腹水平($P < 0.05$),6 h以后恢复到空腹水平。

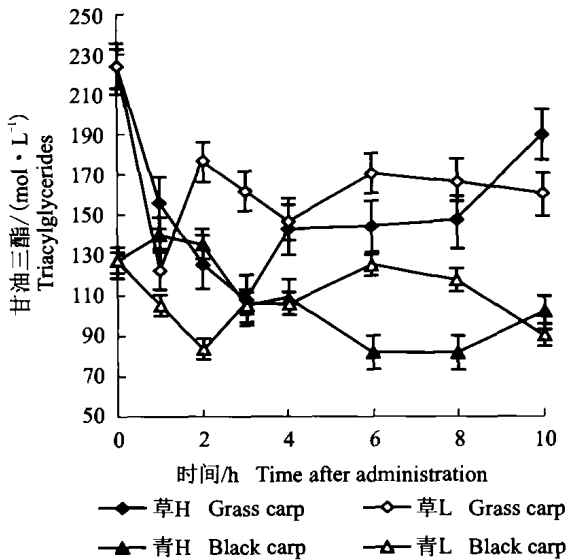


图3 青、草鱼灌喂葡萄糖后甘油三酯的变化

Fig.3 Change of triacylglycerides of black carp and grass carp after glucose administration

2.3.2 草鱼不同处理组间血浆甘油三酯含量的变化 草H组在葡萄糖负荷后的血浆甘油三酯含量先持续下降,至3 h时降至最低值且极显著低于空腹含量($P < 0.01$),之后有所回升,但10 h内仍维持在一个较低水平。草L组在1 h时甘油三酯含量最低,与空腹含量差异极显著($P < 0.01$),之后上升但10 h内仍然显著低于空腹水平($P < 0.05$)。

2.3.3 青、草鱼血浆甘油三酯含量的比较 草鱼空腹血浆甘油三酯水平高于青鱼。在灌喂葡萄糖之初1~3 h内,草H组、草L组和青L组血浆甘油三酯均出现显著下降过程,唯有青H组反而出现升高过程。而在葡萄糖负荷后的6~8 h草H组、青H组血浆甘油三酯含量均分别比草L组、青L组略低。

2.4 灌喂不同剂量葡萄糖后肝糖原含量的变化规律

2.4.1 青鱼 青H组在灌喂葡萄糖后1 h肝糖原降至最低值2.62%(图4),并极显著低于空腹水平($P < 0.01$),2 h后回升至略低于空腹水平($P > 0.05$)。青L组在灌喂后1 h时的肝糖原含量略高于空腹,其后略有下降,于3 h降至最低值后又逐渐回升,但青L组各时刻肝糖原含量与其空腹时的差异不显著($P > 0.05$)。

2.4.2 草鱼 草H组在灌喂葡萄糖后2 h降到最低值5.46%并与空腹时差异极显著($P < 0.01$)。4 h时回升到略高于空腹水平的最高值,以后又缓慢下降,但与空腹水平无显著差异($P > 0.05$)。草L组在灌喂后3 h内的肝糖原含量略高于空腹,其后缓慢下降,于6 h时降至最低值后又逐渐回升,但草L组各时刻肝糖原含量与其空腹时的差异不显著($P > 0.05$)。

2.4.3 青鱼与草鱼肝糖原含量的比较 草鱼空腹肝糖原水平高于青鱼。灌喂高剂量葡萄糖后两种鱼肝糖原都有一个显著下降的过程,但青H组比草H组提前1 h。灌喂低剂量葡萄糖后两种鱼的肝糖原变化规律与灌喂高剂量时有所不同,即有一个先升后降再回升的过程,且青L组比草L组提前了2~3 h。青鱼在高剂量或低剂量葡萄糖负荷后其肝糖原的应激或代谢反应比草鱼更强烈。

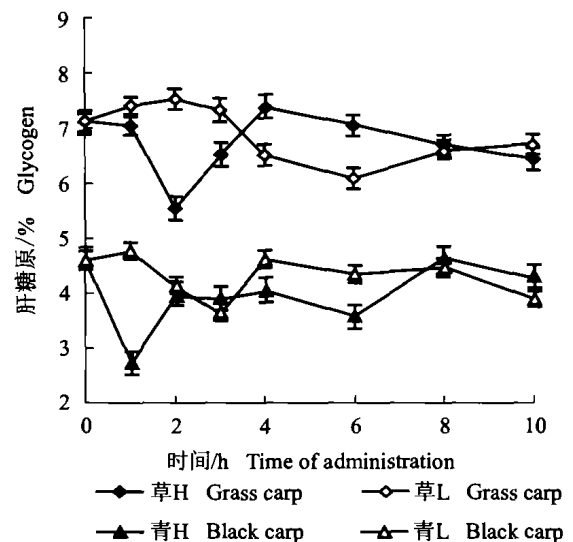


图4 青、草鱼灌喂葡萄糖后肝糖原的变化

Fig.4 Change of glycogen of black carp and grass carp after glucose administration

3 讨论

3.1 青鱼与草鱼糖耐量的比较

口服葡萄糖的糖耐量试验是用于检测人类糖尿病的手段。因为鱼类对糖的利用能力有限,所以人们也用糖耐量试验来考察鱼类对糖利用能力的大小。据报道,进行口服葡萄糖耐量试验的鱼类有溪红点鲑(*Salvelinus fontinalis*)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)、鲤鱼(*Cyprinus carpio*)、真鲷(*Pagrosomus major*)、黄条鲷(*Setiola aureorotata* Temminck et Schegel)、斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)^[2]、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)^[6]、隆颈巨额鲷(*Sparus aurata*)和大吻鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[7],尽管这些文献一致表明鱼类口服葡萄糖后会表现持久的高血糖,但不同的鱼类糖耐量存在差异。Furuichi等^[8]报道黄条鲷糖耐量最低,真鲷其次,鲤鱼最高。由本实验得出的结果是:①青鱼和草鱼口服葡萄糖都会使其血糖值有不同程度地升高,但口服相同剂量的葡萄糖后,草鱼血糖含量比青鱼低,血糖恢复到空腹水平的速度比青鱼快;②空腹状态下草鱼血浆总氨基酸含量、甘油三酯含量和肝胰脏内肝糖原含量均极显著高于空腹状态的青鱼($P < 0.01$);③青鱼在高剂量葡萄糖负荷后出现明显的应激反应,即出现血浆总氨基酸和甘油三酯的快速升高过程,而草鱼组和低剂量青鱼组无此现象;④无论高剂量还是低剂量

葡萄糖负荷后,肝糖原下降的时间和幅度都是青鱼比草鱼早而大。这些事实均说明了草鱼糖耐量比青鱼高,提示草鱼对糖的利用能力比青鱼强。鱼类在较高葡萄糖负荷后可能会出现应激反应,应激反应的强弱可能与鱼类糖耐量大小呈反比,与负荷剂量呈正比。

3.2 青鱼与草鱼糖代谢的调节机制

Wilson 等^[9]曾认为鱼类低糖耐量是由于内生胰岛素分泌不足造成的。但其后 Plisetskaya^[10]和 Mommsen 等^[11]的研究表明鱼类胰岛素水平相似于甚至高于哺乳类。因此人们又探讨了胰岛素受体数量及受体与胰岛素的亲和力^[12-13],同时也广泛地考察了鱼类糖代谢限速酶的活性及其在不同条件下的表达水平^[14-15]。但至今鱼类糖尿病体质的形成机制以及不同食性鱼类的糖代谢机制仍不清楚。鱼类血糖与胰腺激素之间具显著相关性,胰岛素刺激血浆葡萄糖和脂肪酸下降并促进肝糖原和脂肪合成,胰高血糖素促进高血糖及脂肪分解^[16],生长抑制素则可能导致高血糖和糖原分解^[17]。从本实验结果可见,两种鱼在灌喂葡萄糖之初的代谢反应不同。青 H 组灌喂葡萄糖之初甘油三酯和总氨基酸含量上升,草 H 组在口服葡萄糖之初甘油三酯和总氨基酸下降,造成这种差异的原因可能在于草鱼胰岛素分泌的调节机制与青鱼不同。由于草鱼在长期进化中摄食的天然饵料中糖含量相对较高,因此其对高糖饲料的适应能力比青鱼强,在摄入含糖饲料后内分泌系统能迅速作出反应,胰岛素分泌增加,胰高血糖素分泌下降,血浆甘油三酯、总氨基酸都下降,血糖恢复的速度也较快。Furuichi 等^[8]报道鱼类在葡萄糖负荷后胰岛素分泌增加,与 Hilton 等^[18]的研究结果相支持,而且鱼类在摄食高糖饲料后血浆胰岛素含量比摄食低糖饲料时高,这与本实验中草鱼的情形相似。而本实验中青鱼的结果与 Harmon 等^[19]在虹鳟实验中所描述的情形相同,他们发现给虹鳟注射 0.3 g/(kg 体重)的葡萄糖后 1 h 内血浆脂肪酸增加,肝糖原下降。其内分泌调节机制可能正如鲑、鳟、鲑等肉食性鱼类那样,其胰腺 D 细胞对葡萄糖非常敏感,甚至比 B 细胞还敏感,葡萄糖浓度增加首先刺激 D 细胞分泌生长抑素,生长抑素能抑制胰岛素的分泌,使鱼类在口服葡萄糖之初胰岛素浓度不能及时升高,有时甚至是下降^[2]。

激素对糖代谢具有调节作用,但直接起作用的是有关酶而非激素。研究发现杂食性的鲤鱼在摄食含糖饲料或葡萄糖负荷后,G6Pase 活性受到明显抑制,而肉食性的虹鳟在摄食含糖饲料后 G6Pase mRNA 表达量和活性都没有表现出显著差异^[15],这提示肉食性鱼类糖异生能力很强,并且不受外源性饲料糖的影响。因此在对外源性糖和内源性糖的利用之间存在竞争,肉食性鱼类显然倾向于首先利用内源性糖。结果一方面造成对外源性糖利用不理想;另一方面由于糖异生使血糖峰值更高,高血糖时间更持久。本实验青鱼的血糖变化规律支持了以上观点。

在本实验中,无论青鱼还是草鱼在高剂量葡萄糖负荷后均出现肝糖原迅速而显著的下降过程,而低剂量葡萄糖负荷

后均出现肝糖原微升的过程。这一结果与蔡春芳等^[20]对异育银鲫口服葡萄糖的实验结果基本一致,即鱼类在血糖水平较低时能进行有效的合成代谢,而在高血糖时首先进行分解代谢。

参考文献:

- [1] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京:中国农业出版社,1996. 135-136.
- [2] Wilson R P. Utilization of dietary carbohydrate by fish[J]. Aquaculture, 1994,124:67-80.
- [3] 蔡春芳,王道尊. 异育银鲫对糖利用性的研究——外源胰岛素敏感性试验[J]. 中国水产科学,1999, 6(1):62-65.
- [4] 《生物化学》编写小组. 生物化学实验指导[M]. 北京:人民卫生出版社,1987. 117-119,89-91.
- [5] 郝黎仁,樊元,郝哲欧,等. SPSS 实用统计分析[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003. 155-182.
- [6] Garcia-Riera M P, Hemre G-I. Glucose tolerance in turbot, *Scophthalmus maximus* (L.) [J]. Aquac Nutr, 1996,2:117-120.
- [7] Peres H, Goncalves P, Oliva-Teles A. Glucose tolerance in gilt-head seabream (*Sparus aurata*) and European seabass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture, 1999,179:415-423.
- [8] Furuichi M, Yone Y. Change of blood sugar and plasma insulin levels in glucose tolerance test [J]. Bull Jap Soc of Sci Fish. 1981,47:761-764.
- [9] Wilson R P, Poe W E. Apparent inability of channel catfish to utilize dietary mono- and disaccharides as energy sources [J]. J Nutr, 1987,117:280-285.
- [10] Plisetskaya E M. Recent studies on fish pancreatic hormones: Selected topics [J]. Zool Sci, 1990,7:335-353.
- [11] Mommsen T P, Plisetskaya E M. Insulin in fish and agnathans: History structure and metabolic regulation [J]. Rev Aquac Sci, 1991,4:225-259.
- [12] Gutiérrez J, Åsgård T, Fabbri E, et al. Insulin receptor binding in skeletal muscle of trout [J]. Fish Physiol Biochem, 1991, 9: 351-360.
- [13] Baños N, Baró J, Castejón C, et al. Influence of high-carbohydrate enriched diets on plasma insulin levels and insulin and IGF-1 receptors in trout [J]. Regulat Pept, 1998,77:55-62.
- [14] Isidoro metón, Anna Caseras, Felipe Fernández, et al. 6-phosphofructo-2-Kinase/fructose-2, 6-bisphosphatase gene expression is regulated by diet composition and ration size in liver of gilthead sea bream, *Sparus aurata* [J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2000,1491:220-228.
- [15] Panserat S, Capilla E, Gutierrez J, et al. Glucokinase is highly induced and glucose-6-phosphatase poorly repressed in liver of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by a single meal with glucose [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B, 2001,128:275-283.
- [16] Harmon J S, Rieniets L M, Sheridan M A. Glucagon and insulin

- regulate lipolysis in trout liver by altering phosphorylation of triacylglycerol lipase[J]. *Am J Physiol*, 1993, 265:R255 - R260.
- [17] Eilertson C D, Sheridan M A. Differential effects of somatostatin-14 and somatostatin-25 on carbohydrate and lipid metabolism in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Gen Comp Endocrinol*, 1993, 92:62 - 70.
- [18] Hilton J W, Plisetskaya E M, Leatherland J F. Does oral 1,5,3'-triiodo-L-thyronine affect dietary glucose utilization and plasma insulin levels in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *Fish Physiol Biochem*, 1987, 4:113 - 120.
- [19] Harmon J S, Eilertson C D, Sheridan M A, et al. Insulin suppression is associated with hypersomatostatinemia and hyperglucagonemia in glucose-injected rainbow trout [J]. *Am J Physiol*, 1991, 261:R609 - R613.
- [20] 蔡春芳, 陈立侨, 宋学宏, 等. 异育银鲫口服葡萄糖后血糖、血脂和肝糖原的变化[J]. *水产学报*, 2002, 26(3):237 - 241.

Comparative research on glucose tolerance between black carp *Mylopharyngodon piceus* and grass carp *Ctenopharyngodon idellus*

HUANG He-zhong, DING Lei, SONG Xue-hong, WANG Yong-ling, YANG Cai-gen

(College of Agricultural Science and Technology, Institute of Fisheries Research, Suzhou University, Suzhou 215006, China)

Abstract: The body weight of black carp (*Mylopharyngodon piceus*) was (63 ± 3) g and grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) was (46 ± 2) g. The fish were reared for four weeks to acclimatize to the laboratory environment and unfed for 24 h. The samples of blood and liver were collected before and at 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 6 h, 8 h, 10 h after the fish were administered orally with 167 mg glucose per 100 g body weight (Group H) and 42 mg glucose per 100 g body weight (Group L) separately and then their metabolism reactions were examined. The results showed that the two species both had sustained high plasma glucose levels; black carp's plasma glucose level was higher than grass carp's after administered orally at the same dosage of glucose; the higher dosage of glucose was taken, the higher plasma glucose level was for the two species; the total plasma amino acid and triglyceride levels decreased first and increased afterward in Group L of grass carp, Group H of grass carp and Group L of black carp, but those in Group H of black carp increased first after oral administration; liver glycogen contents in Group H of black carp and Group H in grass carp decreased sharply to 2.62% during the first hour and decreased slowly to 5.46% during the two hours respectively after oral administration.

All the results indicate that black carp's glucose tolerance is lower than grass carp's; the mechanisms of regulating endocrine of the two species may be different under the condition of high glucose administration. Furthermore, high glucose administration also results in stress reaction in the two species, and the reaction degree may be negatively related to glucose tolerance, but positively related to glucose dosage.

Key words: black carp; grass carp; glucose tolerance; glucose metabolism