

草鱼、银鲫和青鱼捕捞后的应激反应

姜丹莉¹, 林雅云¹, 吴玉波¹, 王岩^{2*}

(1. 浙江大学动物科学学院, 浙江 杭州 310058;

2. 浙江大学海洋学院, 浙江 杭州 310058)

摘要: 分别评价了捕捞对草食性(草鱼)、杂食性(银鲫)和肉食性(青鱼)鲤科鱼类血液指标(血浆皮质醇、葡萄糖和乳酸浓度)、肝糖原含量和两种肝脏糖酵解酶(己糖激酶和丙酮酸激酶)活性的影响。结果显示: 草鱼、银鲫和青鱼捕捞后血浆皮质醇、葡萄糖和乳酸浓度均显著升高; 草鱼和青鱼捕捞后2 h时肝糖原含量呈下降趋势, 但银鲫捕捞前、后肝糖原含量未出现显著变化; 捕捞前、后青鱼血糖浓度显著高于草鱼和银鲫。银鲫肝糖原含量显著高于草鱼和青鱼, 其捕捞后血浆葡萄糖和乳酸浓度增加幅度较小, 这意味着捕捞后银鲫应激反应强度相对较低。草鱼和银鲫捕捞后肝脏己糖激酶和丙酮酸激酶活性未发生显著变化, 青鱼捕捞后2 h己糖激酶活性显著下降, 这意味着捕捞应激后血糖升高未导致草鱼、银鲫和青鱼的肝脏糖酵解酶活性增强。

关键词: 鲤科鱼类; 捕捞应激; 皮质醇; 肝糖原; 糖酵解

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

应激指生物体受到外界刺激后所产生的一系列神经内分泌反应(初级应激反应, 包括血液中儿茶酚胺类和皮质类固醇类浓度升高)和代谢与机能的改变(次级应激反应, 包括血液中葡萄糖和乳酸浓度变化和肝组织糖原含量变化等), 这些反应或改变可导致生物体生长速率、抗病能力、繁殖能力及行为等方面发生变化^[1-2]。鱼类养殖、捕捞和运输过程中会产生不同程度的应激, 了解鱼类应激反应特点对于降低生产活动中各类应激源对鱼类成活率、生长和健康的负面影响具有指导作用。近10多年来, 有关鱼类应激反应的研究逐渐增多, 已成为水产养殖中一个新的研究热点。

研究表明, 鱼类应激后血液中皮质醇、葡萄糖和乳酸浓度会急剧升高, 同时肝脏中糖原含量迅速下降^[3-5]。鉴于葡萄糖和糖原均为重要的供能物质, 上述现象反映出鱼类应激后短时间内需大量消耗能量以恢复机体的自稳态。不

同食性的鱼类应激后代谢强度差别较大, 血液中各种应激指标的变化也存在较大差异^[3-8]。非肉食性鱼类白肌组织中胰岛素受体数量多于肉食性鱼类^[1, 9], 具有较强的葡萄糖磷酸化能力^[10]。因此, 草食性和杂食性鱼类较肉食性鱼类能够更好地利用食物中的碳水化合物^[11-13]。例如, 草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)的耐糖能力高于青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)^[14]。上述差异意味着草食性和杂食性鱼类应激后可能糖酵解能力较强、血糖恢复到正常水平的时间较短。早期研究比较了不同海水鱼类种类的应激反应^[8, 15], 但关于不同食性鱼类应激反应的比较尚未见报道。本实验对捕捞后3种不同食性的淡水鲤科鱼类[草鱼、银鲫(*Carassius auratus gibelio*)、青鱼]部分血液指标(皮质醇、葡萄糖和乳酸)、肝糖原含量和肝脏糖酵解酶活性的变化进行了研究, 目的是确定草食性、杂食性和肉食性鲤科鱼类应激后血糖变化规律以及糖酵解活动的差异。

收稿日期: 2015-11-19 修回日期: 2016-07-04

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303056)

通信作者: 王岩. E-mail: ywang@zju.edu.cn

1 材料与方 法

1.1 实验鱼及饲养条件

实验所用草鱼、银鲫和青鱼购自浙江省德清市乾元镇联合村的一家淡水鱼养殖场,用活水车运至浙江大学紫金港校区水产养殖实验基地后在室外聚乙烯水槽(容积为4000 L)中暂养3周。暂养期间投喂用实验室配方制作的配合饲料(粗蛋白含量为40%,脂肪含量为8%,灰分含量为8%)。实验在室内循环水养殖系统中进行,该系统由24个玻璃钢水槽(直径80 cm,高70 cm,容积300 L)和一个水处理单元组成。

1.2 实验设计和操作过程

采用单因素实验设计,设草食性鱼类(草鱼)、杂食性鱼类(银鲫)和肉食性鱼类(青鱼)3个处理。实验开始前分别挑选24尾草鱼[体质量为(64.9±12.9) g,平均值±标准差, $n=24$]、24尾银鲫[体质量为(66.6±12.8) g,平均值±标准差, $n=24$]和24尾青鱼[体质量为(66.2±11.9) g,平均值±标准差, $n=24$],在室内循环水水槽中驯养3周。每种鱼放养在两个水槽中,其中一个水槽进行捕捞应激处理(捕捞前0.5和2 h),一个水槽作为对照(捕捞前0 h),每个水槽内放12尾鱼。驯养期间,每天9:00和17:00向水槽内投喂配合饲料。实验水槽内水为经过充分曝气的自来水,连续充气并按3 L/min的速率与水处理单元交换。水槽内水温为(21±1) °C, pH为(6.8±0.1),溶解氧为(8.6±0.2) mg/L,光照周期为光照:黑暗=14 h:10 h。保持室内安静以避免对鱼产生惊扰应激。

实验开始时将鱼停食24 h。在未进行捕捞的水槽(对照,0 h)内取样前将水深降低至10 cm,缓缓加入丁香酚(浓度为60 mg/L),待水槽内鱼完全失去平衡后用抄网随机捞取6条鱼,将每尾鱼称重,然后用1 mL一次性医用注射器(预先用1%肝素钠溶液润洗)从尾静脉取1 mL血样并转入1.5 mL离心管中,将血样在4°C、3500 r/min下离心15 min,分离出血浆并在-20°C下保存。将取血后的鱼置于冰盘上,解剖出肝脏并迅速保存在液氮中。进行捕捞处理的水槽内取样前将水深降至10 cm,迅速用抄网将水槽内的鱼全部捞出,将鱼在空气中暴露5 min后分别放入另外两个事先准备好的水槽中(每个水槽内6尾鱼),在捕捞后的0.5和2 h时分别将鱼麻醉、称重、取血样和肝脏样品(操作方法与对照水槽所用方法一致)。

1.2 血浆生化指标测定

用酶联免疫吸附测定法测定血浆皮质醇浓度(试剂盒产品号为EA65, Oxford Biomedical Research, Inc., Oxford, USA)。用Hitach-7180自动生化分析仪(Hitachi High-Tech Science Systems Corporation, Hitachinaka-shi, Japan)测定血浆葡萄糖浓度。用比色法测定血浆乳酸浓度(试剂盒产品号为A019-2,南京建成生物工程研究所,南京,中国)。用蒽酮法测定肝脏中糖原含量(试剂盒产品号为A043,南京建成生物工程研究所,南京,中国)。

取1 g肝脏样品放入10 mL离心管中,按(1:10 w/v)的比例加入缓冲液(50 mmol/L Tris-HCl、4 mmol/L EDTA、50 mmol/L NaF、0.5 mmol/L PMSF、1 mmol/L dithiothreitol, pH 7.5),在冰浴条件下用全自动样品快速研磨仪(上海净信科技, JXFSTPRP-24)匀浆获得10%组织匀浆液。将匀浆液分为两份,一份在900×g下离心10 min后取上清液用比色法检测己糖激酶(hexokinase, HK)酶活(试剂盒产品号为A077-1,南京建成生物工程研究所,南京,中国),一份在10 000×g离心20 min后取上清液用比色法检测丙酮酸激酶(pyruvate kinase, PK)酶活(试剂盒产品号为A076-1,南京建成生物工程研究所,南京,中国)。

1.3 数据分析

采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)分别检验同一种鱼在捕捞前0 h、捕捞后0.5 h和捕捞后2 h血液和肝脏生化指标以及肝脏HK和PK酶活性的差异,以及同一时间不同鱼类上述各指标的差异。若方差分析结果差异显著,采用Duncan氏检验进一步比较同一种鱼不同时间之间和同一时间不同种鱼之间各指标的差异。利用SPSS 16.0进行统计分析,取 $P<0.05$ 为差异显著性水平。

2 结果

2.1 血浆皮质醇、葡萄糖和乳酸浓度

草鱼和银鲫捕捞后0.5和2 h时血浆皮质醇浓度均显著高于捕捞前($P<0.05$),捕捞后2 h,血浆皮质醇浓度较捕捞后0.5 h时下降,但二者间无显著差异($P>0.05$)。青鱼捕捞后0.5 h时,血浆皮质醇浓度显著高于捕捞前($P<0.05$),捕捞后2 h,血浆皮质醇浓度较捕捞后0.5 h时下降,但与捕捞前

和捕捞后0.5 h时均无显著差异($P>0.05$)。草鱼、银鲫和青鱼捕捞前和捕捞后0.5 h时, 血浆皮质醇浓度无显著差异($P>0.05$), 但捕捞后2 h时银鲫血浆皮质醇浓度显著高于草鱼和青鱼($P<0.05$) (图1)。

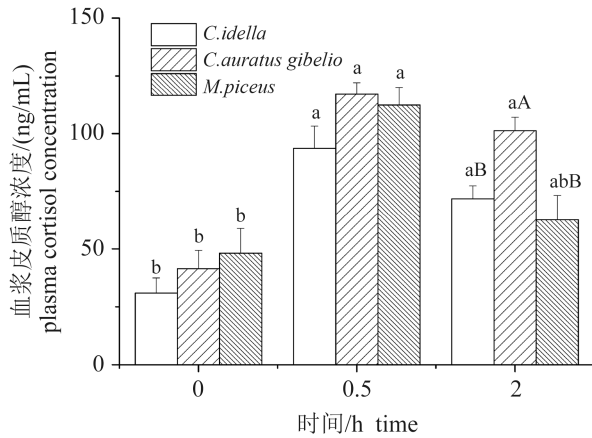


图1 草鱼、银鲫和青鱼捕捞后血浆皮质醇浓度的变化

不同小写字母者表示同一种鱼不同时间之间差异显著; 不同大写字母者表示同一时间不同种鱼之间差异显著($P<0.05$)。下图注释同此

Fig. 1 Cortisol concentration in plasma of grass carp, Prussian carp and black carp after handling stress

Different lowercase letters indicate a significant difference among different time for each fish; different capital letters indicate a significant difference among different fish species for each time ($P<0.05$). The same below

草鱼和银鲫捕捞后0.5 h时血糖浓度显著高于捕捞前($P<0.05$), 捕捞后2 h, 血糖浓度显著高于捕捞后0.5 h时($P<0.05$)。青鱼捕捞后0.5 h时血糖浓度显著高于捕捞前($P<0.05$), 捕捞后2 h, 血糖浓度与捕捞后0.5 h时无显著差异($P>0.05$)。青鱼捕捞前、捕捞后0.5 h和捕捞后2 h时的血糖浓度均显著高于草鱼和银鲫($P<0.05$)(图2)。

草鱼和青鱼捕捞后0.5和2 h时血浆乳酸浓度显著高于捕捞前($P<0.05$), 捕捞后0.5和2 h之间无显著差异($P>0.05$)。银鲫捕捞后0.5 h, 血浆乳酸浓度显著高于捕捞前, 捕捞后2 h, 血浆乳酸浓度与捕捞前和捕捞后0.5 h时无显著差异($P>0.05$)。在捕捞后2 h, 血浆乳酸浓度由高到低排列分别为草鱼>青鱼>银鲫($P<0.05$)(图3)。

2.2 肝糖原含量

草鱼捕捞后2 h, 肝糖原含量显著低于捕捞

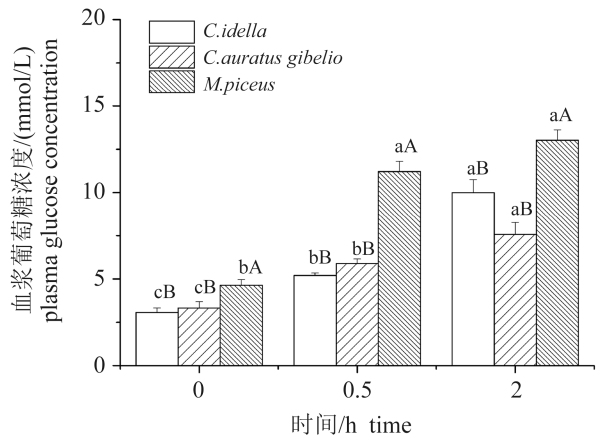


图2 草鱼、银鲫和青鱼捕捞后血浆葡萄糖浓度的变化

Fig. 2 Glucose concentration in plasma of grass carp, Prussian carp and black carp after handling stress

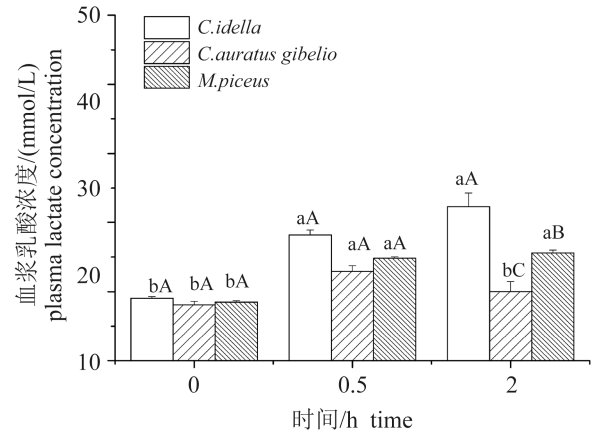


图3 草鱼、银鲫和青鱼捕捞后血浆乳酸浓度的变化

Fig. 3 Lactate concentration in plasma of grass carp, Prussian carp and black carp after handling stress

后0.5 h时($P<0.05$)。青鱼捕捞后2 h, 肝糖原含量显著低于捕捞前($P<0.05$)。银鲫捕捞前、后肝糖原含量无显著差异($P>0.05$)。银鲫捕捞前、捕捞后0.5 h和捕捞后2 h, 肝糖原含量分别显著高于草鱼和青鱼($P<0.05$)。草鱼捕捞后0.5和2 h, 肝糖原含量显著高于青鱼($P<0.05$)(图4)。

2.3 肝脏糖酵解酶活性

青鱼捕捞后2 h, 肝脏HK活性显著下降($P<0.05$), 但草鱼和银鲫捕捞后0.5和2 h, 肝脏HK活性未发生显著变化(表1)。草鱼、银鲫和青鱼捕捞后0.5和2 h, 肝脏PK活性与捕捞前相比未发生显著变化($P>0.05$)。同一时间(捕捞前、捕捞后0.5 h和捕捞后2 h)不同鱼类种类之间HK和

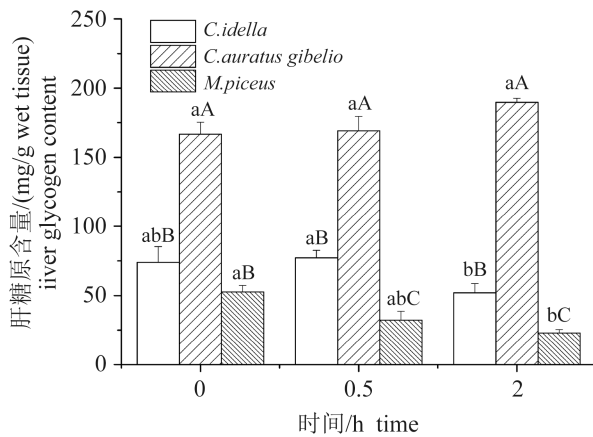


图4 草鱼、银鲫和青鱼捕捞后肝糖原含量的变化

Fig. 4 Glycogen content in liver of grass carp, Prussian carp and black carp after handling stress

PK活性无显著差异($P>0.05$)。

表1 草鱼、银鲫和青鱼捕捞应激后肝脏糖酵解酶活性的变化

Tab. 1 Activities of glycolysis enzymes in liver of grass carp, Prussian carp and black carp after handling stress

酶 enzyme	鱼类种类 species	应激前 before stress	应激后0.5 h 0.5 h post-stress	应激后2 h 2 h post-stress
己糖激酶/(U/g prot)HK	草鱼 <i>C. idella</i>	497.5±114.3	424.9±108.1	587.1±113.4
	银鲫 <i>C. auratus gibelio</i>	392.5±52.0	402.6±93.7	382.2±17.6
	青鱼 <i>M. piceus</i>	554.7±80.3 ^a	429.1±76.6 ^{ab}	350.5±87.5 ^b
丙酮酸激酶/(U/g prot)PK	草鱼 <i>C. idella</i>	30.6±4.3	37.8±4.7	27.7±4.0
	银鲫 <i>C. auratus gibelio</i>	26.5±2.2	29.1±4.2	25.7±1.9
	青鱼 <i>M. piceus</i>	43.9±11.1	41.6±7.4	45.8±7.3

注: 不同小写字母者表示同一种鱼不同时间差异显著($P<0.05$)

Notes: Different lowercase letters indicate a significant difference among different time for each fish ($P<0.05$)

浆皮质醇浓度变化特点和峰值不同, 但是否符合Fanouraki等^[8]报道的皮质醇变化模式还需进一步研究。不同鱼类种类应激后血浆皮质醇浓度峰值不同^[5-6], 如应激后的褐鲟(*Salmo trutta*)与虹鲟(*Oncorhynchus mykiss*)^[5, 16], 湖红点鲟(*Salvelinus namaycush*)与溪红点鲟(*Salvelinus fontinalis*)^[5], 斑鳃棘鲈(*Plectropomus maculatus*)与豹纹鳃棘鲈(*Plectropomus leopardus*)之间^[15]血浆皮质醇浓度存在明显差异。捕捞后乌鳍石斑鱼(*Epinephelus marginatus*)血浆皮质醇浓度峰值可达到尖吻重牙鲷(*Diplodus puntazzo*)、金头鲷(*Sparus aurata*)和绯小鲷(*Pagellus erythrinus*)的2~4倍, 可达到大西洋白姑鱼(*Argyrosomus regius*)和齿鲷(*Dentex dentex*)的20倍, 而欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax*)血浆皮质醇浓度峰值高于上述6种鱼类^[8]。

3 讨论

Fanouraki等^[8]将7种海水鱼类捕捞后皮质醇浓度变化归纳为两种模式: (1)捕捞后2 h内皮质醇浓度达到最高值, 在4 h时恢复至应激前水平; (2)捕捞后2 h内皮质醇浓度达到第一个峰值, 在4 h时出现高于2 h时的第二个峰值。本实验中, 3种具有不同食性的鲤科鱼类(草食性的草鱼、杂食性的银鲫和肉食性的青鱼)血浆皮质醇浓度在捕捞后0.5 h时均显著升高, 在捕捞后2 h时呈下降趋势, 仅青鱼血浆皮质醇浓度恢复到应激前水平; 草鱼、银鲫和青鱼之间捕捞前和捕捞后0.5 h时血浆皮质醇浓度无显著差异, 而捕捞后2 h时银鲫血浆皮质醇浓度显著高于草鱼和青鱼。结果表明, 草鱼、银鲫和青鱼捕捞后血

鱼类受到应激后垂体分泌儿茶酚胺和皮质醇等促进机体糖原分解和糖异生作用, 导致血糖迅速升高^[4]。通常鱼类应激后0.5和4 h的血糖浓度可达到最高值, 但不同种类应激后血糖浓度、血糖升高和恢复的速率各不相同, 如绯小鲷、齿鲷、欧洲鲈和金头鲷分别在捕捞后0.5、1、2和4 h时血糖达到最高浓度, 而欧洲鲈捕捞应激后血糖浓度可达到绯小鲷的4倍^[8]。肉食性鱼类往往具有较强的糖异生能力^[1]。本实验中草鱼、银鲫和青鱼捕捞后2 h内血糖浓度表现为上升趋势, 其中青鱼捕捞后0.5 h时血糖浓度分别是银鲫和草鱼的2倍, 捕捞后2 h时血糖浓度也高于银鲫和草鱼。这一现象是否意味着肉食性的青鱼应激后具有较强的糖异生能力还需要通过检验相关糖异生酶的活性来进行评价。

乳酸是机体无氧代谢的产物, 同时可作为肝脏中合成葡萄糖和糖原的底物^[17-18]。鱼类应激后血浆乳酸浓度升高的主要原因是肌肉的无氧代谢增强^[19]。不同种类鱼类遭受应激后血浆乳酸浓度及其升高和恢复的速率不同^[8]。例如, 斑鳃棘鲈与豹纹鳃棘鲈捕捞和浅水应激后1 h内血浆乳酸浓度达到最高点, 在应激后12 h时恢复到正常水平^[15]; 虹鳟捕捞后2 h内血浆乳酸浓度升至最高点, 在捕捞后4 h时恢复到正常水平^[18]; 莫桑比克罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)慢性应激后2 h时血浆乳酸浓度升至最高点, 在应激后24 h时恢复到正常水平^[20]。本实验中, 草鱼、银鲫和青鱼捕捞后血浆乳酸浓度均显著升高, 其中草鱼乳酸浓度最高, 银鲫乳酸浓度最低且最快恢复至应激前水平。早期研究表明, 鱼类血浆乳酸浓度与其习性, 特别是应激后运动的强烈程度有关^[8]。银鲫捕捞后乳酸浓度较低可能与其活动强度明显弱于草鱼有关。

鱼类应激后可通过分解肝糖原来提供血糖, 因此糖原是鱼类应激反应的重要能量来源^[4]。研究表明, 杂食性莫桑比克罗非鱼肝糖原含量^[20]是肉食性虹鳟^[18, 21]的3倍。本实验中, 杂食性银鲫肝糖原含量大于肉食性青鱼。草鱼和青鱼捕捞后2 h时肝糖原含量显著下降, 这与对虹鳟^[21]、莫桑比克罗非鱼^[20]和条纹石鲈(*Morone saxatilis*)^[22]等的研究结果一致。银鲫捕捞后肝糖原含量未发生显著变化, 这可能与其肝糖原储备较高有关(银鲫肝糖原含量是草鱼和青鱼肝糖原含量的2~3倍), 也可能与其应激后活动代谢强度较低, 能量消耗较少有关。

鱼类应激后糖异生作用增强, 血糖升高, 然而应激后血糖升高对糖酵解作用的影响尚不清楚。罗非鱼拥挤应激后2和24 h时肝脏PK活性显著上升^[20]; 虹鳟捕捞应激后1 h时部分参与肝脏能量代谢的基因, 包括PK以及HK的别构酶葡萄糖激酶(glucokinase, GK)的表达上调^[23-24]; 但López-Patiño等^[21]报道虹鳟捕捞后4 h和45 min内肝脏PK和GK活性显著下降。本实验中, 草鱼、银鲫和青鱼捕捞前、后PK活性无显著差异, 但青鱼在捕捞后2 h时后肝脏HK酶活性较捕捞前显著下降; 捕捞后的同一时间草鱼、银鲫和青鱼肝脏HK和PK活性无显著差异。上述结果初步表明, 捕捞后血糖升高并未导致上述鱼类肝脏糖酵解酶活性明显增强, 但不同鱼类应激后肝脏

糖酵解活动存在一定的差异。

综上所述, 草鱼、银鲫和青鱼捕捞后血浆皮质醇、葡萄糖和乳酸水平均显著升高。草鱼和青鱼捕捞后肝脏糖含量下降, 而银鲫捕捞后肝糖原含量未发生显著变化, 其血浆葡萄糖和乳酸浓度增幅较小, 表明银鲫的捕捞应激反应强度低于草鱼和青鱼; 草鱼、银鲫和青鱼捕捞后肝脏HK和PK活性总体上呈下降趋势, 表明应激后血糖升高未显著增强肝脏的糖酵解作用。

参考文献:

- [1] Barton B A, Iwama G K. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids[J]. Annual Review of Fish Diseases, 1991, 1(1): 3-26.
- [2] Sumpter J P. The endocrinology of stress[M]. New York: Cambridge University Press, 1997: 95-118.
- [3] Vijayan M M, Moon T W. The stress response and the plasma disappearance of corticosteroid and glucose in a marine teleost, the sea raven[J]. Canadian Journal of Zoology, 1994, 72(3): 379-386.
- [4] Wendelaar Bonga S E. The stress response in fish[J]. Physiological Reviews, 1997, 77(3): 591-625.
- [5] Barton B A. Salmonid fishes differ in their cortisol and glucose responses to handling and transport stress[J]. North American Journal of Aquaculture, 2000, 62(1): 12-18.
- [6] Barton B A. Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids[J]. Integrative and Comparative Biology, 2002, 42(3): 517-525.
- [7] Conte F S. Stress and the welfare of cultured fish[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2004, 86(3-4): 205-223.
- [8] Fanouraki E, Mylonas C C, Papandroulakis N, et al. Species specificity in the magnitude and duration of the acute stress response in Mediterranean marine fish in culture[J]. General and Comparative Endocrinology, 2011, 173(2): 313-322.
- [9] Parrizas M, Planas J, Plisetskaya E M, et al. Insulin binding and receptor tyrosine kinase activity in skeletal muscle of carnivorous and omnivorous fish[J]. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 1994, 266(6 Pt 2): R1944-

- R1950.
- [10] Capilla E, Médale F, Panserat S, *et al.* Response of hexokinase enzymes and the insulin system to dietary carbohydrates in the common carp, *Cyprinus carpio*[J]. *Reproduction Nutrition Development*, 2004, 44(3): 233-242.
- [11] Moon T W. Glucose intolerance in teleost fish: fact or fiction?[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Biochemistry & Molecular Biology*, 2001, 129(2-3): 243-249.
- [12] Peres H, Gonçalves P, Oliva-Teles A. Glucose tolerance in gilthead seabream (*Sparus aurata*) and European seabass (*Dicentrarchus labrax*)[J]. *Aquaculture*, 1999, 179(1-4): 415-423.
- [13] Legate N, Bonen A, Moon T. Glucose tolerance and peripheral glucose utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), American eel (*Anguilla rostrata*), and black bullhead catfish (*Ameiurus melas*)[J]. *General and Comparative Endocrinology*, 2001, 122(1): 48-59.
- [14] 黄鹤忠, 丁磊, 宋学宏, 等. 青鱼和草鱼葡萄糖耐量的比较研究[J]. *中国水产科学*, 2005, 12(4): 496-500.
Huang H Z, Ding L, Song X H, *et al.* Comparative research on glucose tolerance between black carp *Mylopharyngodon piceus* and grass carp *Ctenopharyngodon idellus*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2005, 12(4): 496-500 (in Chinese).
- [15] Frisch A, Anderson T. Physiological stress responses of two species of coral trout (*Plectropomus leopardus* and *Plectropomus maculatus*)[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2005, 140(3): 317-327.
- [16] Ruane N M, Bonga S E W, Balm P H M. Differences between rainbow trout and brown trout in the regulation of the pituitary-interrenal axis and physiological performance during confinement[J]. *General and Comparative Endocrinology*, 1999, 115(2): 210-219.
- [17] Vijayan M M, Pereira C, Moon T W. Hormonal stimulation of hepatocyte metabolism in rainbow trout following an acute handling stress[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 1994, 108(3): 321-329.
- [18] Vijayan M M, Moon T W. Acute handling stress alters hepatic glycogen metabolism in food-deprived rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1992, 49(11): 2260-2266.
- [19] Milligan C L, Girard S S. Lactate metabolism in rainbow trout[J]. *Journal of Experimental Biology*, 1993, 180(1): 175-193.
- [20] Vijayan M M, Pereira C, Grau E G, *et al.* Metabolic responses associated with confinement stress in tilapia: the role of cortisol[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 1997, 116(1): 89-95.
- [21] López-Patiño M A, Hernández-Pérez J, Gesto M, *et al.* Short-term time course of liver metabolic response to acute handling stress in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular and Integrative Physiology*, 2014, 168(2): 40-49.
- [22] Reubush K J, Heath A G. Metabolic responses to acute handling by fingerling inland and anadromous striped bass[J]. *Journal of Fish Biology*, 1996, 49(5): 830-841.
- [23] Wiseman S, Osachoff H, Bassett E, *et al.* Gene expression pattern in the liver during recovery from an acute stressor in rainbow trout[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part D: Genomics and Proteomics*, 2007, 2(3): 234-244.
- [24] Momoda T S, Schwindt A R, Feist G W, *et al.* Gene expression in the liver of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, during the stress response[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part D: Genomics and Proteomics*, 2007, 2(4): 303-315.

Stress response of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*), Prussian carp (*Carassius auratus gibelio*) and black carp (*Mylopharyngodon piceus*) to handling

JIANG Danli¹, LIN Yayun¹, WU Yubo¹, WANG Yan^{2*}

(1. College of Animal Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;

2. Ocean College, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: The influence of handling stress on concentrations of cortisol, glucose and lactate in plasma, glycogen content in liver and activities of two enzymes (hexokinase and pyruvate kinase) responsible to glycolysis in liver of three cyprinidae with different food habits, grass carp *Ctenopharyngodon idella* (herbivore), Prussian carp *Carassius auratus prussianio* (omnivore) and black carp *Mylopharyngodon piceus* (carnivore) was evaluated. The concentrations of cortisol, glucose and lactate in plasma of grass carp, Prussian carp and black carp significantly increased after handling. The content of liver glycogen of grass carp and black carp declined at 2 h after handling, while no significant difference was found in content of liver glycogen of Prussian carp before and after handling. The glucose concentration in plasma was higher in black carp than in grass carp and Prussian carp, while the content of liver glycogen was higher in Prussian carp than those in grass carp and black carp. A smaller increase in concentrations of lactate and glucose in plasma was observed in Prussian carp, suggesting that stress response induced by handling was lower in Prussian carp compared to grass carp and black carp. No significant difference was found in the activities of hexokinase and pyruvate kinase in liver of grass carp and Prussian carp before and after handling, while the activity of hexokinase in liver of black carp decreased at 2 h after handling. These results indicate that the increase of glucose concentration in plasma did not enhance the enzymes activities for glycolysis in liver of grass carp, Prussian carp and black carp.

Key words: Cyprinidae; handling stress; cortisol; liver glycogen; glycolysis

Corresponding author: WANG Yan. E-mail: ywang@zju.edu.cn

Funding projects: Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest of China(201303056)