

运输胁迫对银鲳血清皮质醇、血糖、组织中糖元及乳酸含量的影响

彭士明¹, 施兆鸿^{1*}, 李杰², 尹飞¹, 孙鹏¹, 王建钢¹

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090;

2. 中华人民共和国科学技术部火炬高技术产业开发中心, 北京 100045)

摘要: 研究分析了运输胁迫2、4、8和12 h后银鲳血清皮质醇、血糖、组织中糖元及乳酸含量的变化。选取平均体质量为(10.05±0.23) g的银鲳幼鱼为试验对象, 共设3组运输密度, 分别为4、8和16 g/L。每个时间段的运输结束后, 将取样后剩余的鱼转入1 m³水体的圆形玻璃钢桶中观察24 h, 以统计各自的累计死亡率。研究结果显示, 16 g/L密度组在运输12 h后成活率为91.25%, 其余均为100%; 运输胁迫导致皮质醇含量显著升高($P < 0.05$), 运输4 h后, 血清皮质醇含量均达到最高值, 12 h后皮质醇含量虽较运输4 h后有所降低, 但仍显著高于试验初的水平, 且此时16 g/L密度组的皮质醇含量均显著高于4和8 g/L密度组($P < 0.05$); 血糖、血清与肌肉中乳酸含量在运输胁迫后均显著升高($P < 0.05$); 肝脏与肌肉中糖元含量在运输胁迫后均显著降低($P < 0.05$), 但在整个运输胁迫过程中, 肝脏组织中糖元含量的降低程度明显高于肌肉组织。统计分析得出, 较高的运输密度会加重银鲳的应激性反应, 并推测在小水体开放式运输的情况下, 规格为10 g左右的银鲳幼鱼, 其运输密度不宜超过16 g/L。此外, 在运输胁迫下, 银鲳机体的能量供给主要来自肝脏糖元的动员。

关键词: 银鲳; 运输; 胁迫; 皮质醇; 血糖; 乳酸

中图分类号: S 917

文献标志码: A

银鲳 (*Pampus argenteus*) 隶属鲳科 (Stromateidae)、鲳属 (*Pampus*), 其不仅是我国沿海主要的海产经济鱼类之一, 而且在印度、科威特、伊朗等国家的渔业经济中均占有较大的比重^[1]。然而, 近些年来, 随着捕捞强度的增加与水环境的不断恶化, 银鲳资源已明显减少^[2]。鉴于野生银鲳资源的不断萎缩, 自2004年开始, 中国水产科学研究院东海水产研究所已着手开展银鲳的人工育苗工作。截至2010年, 已取得了一系列的研究成果^[3-7], 且已成功获得了全人工银鲳苗种。尽管目前银鲳人工繁育的技术尚不完善, 但银鲳全人工繁育瓶颈的突破, 意味着银鲳将有可能成为一种新兴的、可推广的养殖品种。在目前的试推广阶段, 银鲳的运输问题是主要的限制因子之一, 原因在于银鲳应激性反应强烈, 易死亡。因此, 开展银鲳运输方面的研究无疑是一项

重要的研究内容。

已有研究表明, 皮质醇、血糖以及乳酸含量随应激程度的不同可呈现规律性的变化, 因此, 已被广泛用作研究分析机体应激反应程度的重要指标^[8-11]。本文研究分析了运输胁迫下, 银鲳血清皮质醇、血糖、乳酸、肌肉糖元与乳酸以及肝脏糖元含量的变化规律, 以期分析导致银鲳应激性死亡的可能原因, 并探讨银鲳在运输胁迫下机体的自我调节机制及其较为适宜的运输条件, 为银鲳的苗种运输和养殖生产提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用银鲳为人工培育获得的种苗, 试验之前的银鲳幼鱼饲养于水体为20 m³的圆形水泥池

收稿日期: 2010-12-04 修回日期: 2011-02-06

资助项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费(东2008M14; 东2009M05); 沪农科攻字(2007)第4-1号

通讯作者: 施兆鸿, E-mail: shizhh@hotmail.com

中,选取大小规格相近的银鲳幼鱼为试验对象,平均体质量为 (10.05 ± 0.23) g。

1.2 试验设计

采用车载开放式运输的方法,将试验容器(60 L的塑料圆桶)放于运输货车上,运输车每隔30分钟启动行驶30 min。试验容器中装有25 L海水(盐度25、pH 8.17、温度为自然水温 $24\text{ }^{\circ}\text{C}$)。共设3个运输密度,分别为4、8和16 g/L,即25 L的运输水体中分别放置平均体质量为10.05 g的银鲳幼鱼10、20和40尾。每个运输密度各设12个运输桶,共36个运输桶。运输试验维持12 h,整个运输过程中用蓄电充气泵进行持续增氧。

1.3 样品采集与分析

试验开始之前,随机选取已筛选出的银鲳幼鱼9尾作为实验初样品。同时,分别在运输2、4、8和12 h 4个时间点取样,每个时间点的取样均是选取每个运输密度组中的3个运输桶,从每桶中随机取3尾鱼作为样品鱼。样品鱼用200 mg/L的MS222进行快速麻醉后,尾部取血,血样静置1 h后在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下以3 000 r/min离心10 min,所得血清置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻存待测。样品鱼在取完血样后,于碎冰上快速解剖取其背部肌肉与肝脏样品,均保存于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 中待测。在每个时间点取完样品之后,将每个运输桶中剩余的银鲳幼鱼分别转入到 1 m^3 水体的圆形玻璃钢桶中,观察24 h以统计各自的累计死亡率。

血清皮质醇的测定采用酶联免疫法,试剂盒为美国R & D公司的海水鱼皮质醇ELISA试剂盒。

血糖、乳酸以及糖元的含量均采用南京建成生物工程研究所的试剂盒进行测定。

1.4 数据处理

数据以平均值 \pm 标准误(mean \pm SE)表示,试验结果用SPSS11.5软件进行统计与分析,采用Duncan氏检验进行多重比较, $P < 0.05$ 即认为有显著性差异。

2 结果

2.1 运输胁迫下银鲳幼鱼的成活率

在12 h的运输过程中,除了最高密度组(16 g/L)在运输12 h后的成活率为91.25%之

外,其它各密度组在各个时间点的成活率均为100%。

表1 运输胁迫下银鲳的成活率
Tab.1 Survival rates of silver pomfret subjected to transportation stress %

运输密度/(g/L) density	运输时间/h transportation time			
	2	4	8	12
4	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00
	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00
8	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00
	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00
16	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	91.25 \pm 1.77
	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	91.25 \pm 1.77

2.2 运输胁迫下血清皮质醇、血糖及乳酸含量的变化

运输胁迫下银鲳血清皮质醇含量的变化见图1。由图1可以看出,运输胁迫导致皮质醇含量显著升高($P < 0.05$)。3个运输密度组在运输4 h后,血清皮质醇含量均达到最高值,且均分别显著高于运输2 h后各自的皮质醇含量($P < 0.05$)。然而,随着运输时间的进一步加长,皮质醇含量呈现出不同程度的降低趋势,其中8与16 g/L两个密度组的皮质醇含量表现为显著性降低($P < 0.05$),而4 g/L密度组的皮质醇含量虽有所降低,但不具有显著性($P > 0.05$)。运输2 h后,运输密度的增加,显著提高了皮质醇的含量。而在

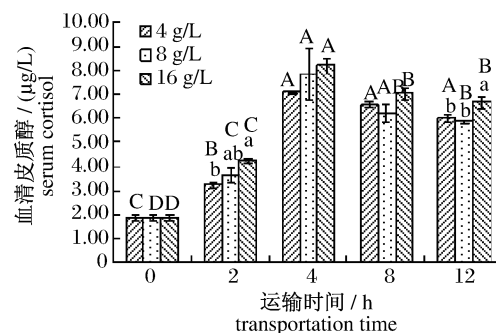


图1 运输胁迫对银鲳血清皮质醇含量的影响

同一时间不同密度组上方不同小写字母表示有显著性差异($P < 0.05$);同一密度不同时间组上方不同的大写字母表示有显著性差异($P < 0.05$)。

Fig.1 Effect of transportation stress on serum cortisol contents of silver pomfret

Bars with different lowercase letters at the same time denote significant differences at $P < 0.05$; Bars with different capital letters at the same density denote significant differences at $P < 0.05$.

运输 4 h 后,各运输密度组间皮质醇含量则无显著性差异($P>0.05$)。运输 12 h 后,皮质醇含量虽较运输 4 h 后有所降低,但仍显著高于试验初的水平,且此时 16 g/L 密度组的皮质醇含量均显著高于 4 g/L 和 8 g/L 密度组($P<0.05$)。

运输胁迫导致血糖与乳酸含量显著升高($P<0.05$)(图 2 和图 3)。血糖含量随着运输密度的增加基本呈升高的趋势。在运输 2 h 后,16 g/L 密度组血糖含量显著高于 4 g/L 和 8 g/L 密度组。但在运输 4 h 和 8 h 后,尽管血糖含量随着密度增加逐渐升高,但各密度组间并无显著性差异($P>0.05$)。在运输 12 h 后,8 g/L 密度组血糖含量明显高于 4 g/L 密度组,但与 16 g/L 密度组间并无显著性差异。在 2 h 至 12 h 的运输过程中,4 g/L 和 8 g/L 密度组的血糖含量随着运输时间的增加呈现波浪式的变化,但各时间点间并无显著性差异。16 g/L 密度组血糖含量在运输 4 h 后达到最大值,随着运输时间的增加,血糖含量显著降低。运输过程中(2~12 h),血清乳酸含量一直保持较高的水平,但各密度组间以及不同时间点间均无显著性的差异($P>0.05$)。

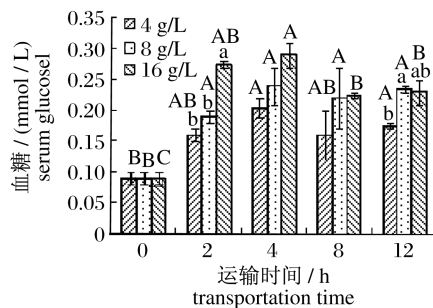


图 2 运输胁迫对银鲟血糖含量的影响

同一时间不同密度组上方不同小写字母表示有显著性差异($P<0.05$);同一密度不同时间组上方不同的大写字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

Fig. 2 Effect of transportation stress on serum glucose contents of silver pomfret

Bars with different lowercase letters at the same time denote significant differences at $P<0.05$; Bars with different capital letters at the same density denote significant differences at $P<0.05$.

2.3 运输胁迫下肌肉糖元、乳酸以及肝脏糖元含量的变化

图 4 示运输胁迫下肌肉乳酸含量的变化,由图 4 可以看出,运输胁迫导致肌肉乳酸含量显著升高($P<0.05$),且随着运输时间的增加,肌肉乳

酸含量呈现逐渐升高的趋势,但在运输 2~12 h 内,运输密度与运输时间的增加并未显著影响肌肉乳酸的含量($P>0.05$)。运输胁迫导致肌肉与肝脏糖元含量明显降低(图 5 和图 6)。运输 2 h 后肌肉糖元含量最低,且显著低于试验初的水平,但在运输 4~12 h 后,肌肉糖元含量虽仍较试验初的水平低,但已与试验初的水平无显著性差异($P>0.05$)。相同运输时间内,不同密度组间肌肉糖元含量均无显著性差异($P>0.05$)。肝脏糖元含量随着运输时间的增加呈波浪式变动,且在运输 4、8 以及 12 h 后,各密度组间均无显著性差异($P>0.05$),但在整个运输胁迫过程中,肝糖元含量(除了密度 16 g/L 运输 8 h 后)均显著低于试验初的水平($P<0.05$)。

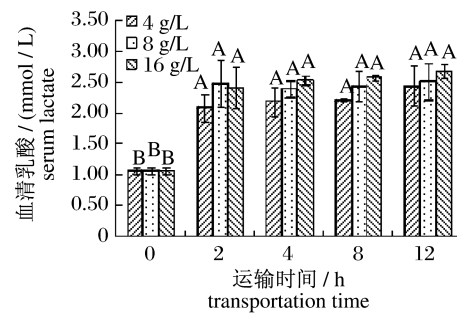


图 3 运输胁迫对银鲟血清乳酸含量的影响

同一密度不同时间组上方不同的大写字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

Fig. 3 Effect of transportation stress on serum lactate contents of silver pomfret

Bars with different capital letters at the same density denote significant differences at $P<0.05$.

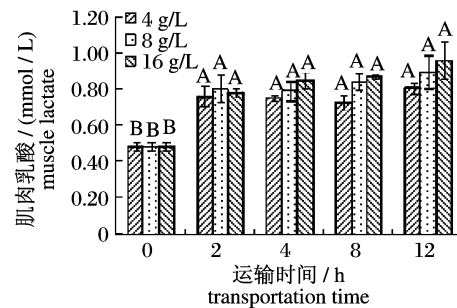


图 4 运输胁迫对银鲟肌肉乳酸含量的影响

同一密度不同时间组上方不同的大写字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

Fig. 4 Effect of transportation stress on muscle lactate contents of silver pomfret

Bars with different capital letters at the same density denote significant differences at $P<0.05$.

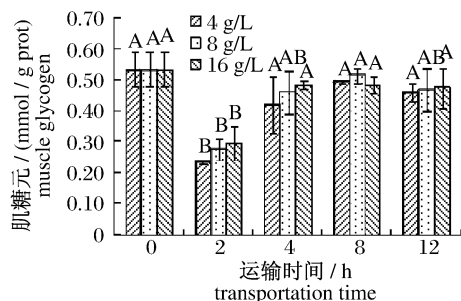


图5 运输胁迫对银鲷肌糖元含量的影响

同一密度不同时间组上方不同的大写字母表示有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Fig. 5 Effect of transportation stress on muscle glycogen contents of silver pomfret

Bars with different capital letters at the same density denote significant differences at $P < 0.05$.

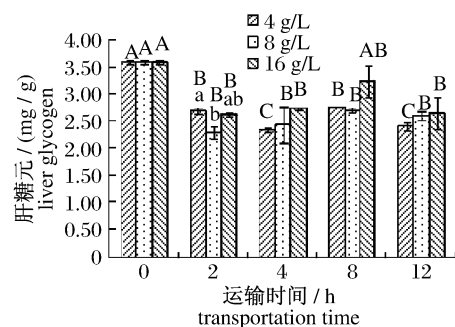


图6 运输胁迫对银鲷肝糖元含量的影响

同一时间不同密度组上方不同小写字母表示有显著性差异 ($P < 0.05$);同一密度不同时间组上方不同的大写字母表示有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Fig. 6 Effect of transportation stress on liver glycogen contents of silver pomfret

Bars with different lowercase letters at the same time denote significant differences at $P < 0.05$; Bars with different capital letters at the same density denote significant differences at $P < 0.05$.

3 讨论

通过生理学指标分析鱼类的应激性反应是检测养殖鱼类健康状况的有效方法。同时,对于建立某些应激性操作(如鱼类运输)方面适宜的操作规范,同样具有至关重要的参考价值。本研究结果显示,运输 12 h 后最高运输密度组(16 g/L)出现鱼死亡情况,而较低运输密度组(4 和 8 g/L)的成活率均为 100%。由此可以推断,采用本试验的运输条件,在运输 12 h 的情况下,银鲷幼鱼可以承受 4、8 g/L 的运输密度所带来的应激反

应。皮质醇的含量变化是检测应激性反应重要的指示指标之一^[12-14]。本研究中,运输胁迫导致血清皮质醇含量显著升高,而关于胁迫致使皮质醇含量升高的现象在许多硬骨鱼类中已有许多报道^[14-16]。众所周知,较高的密度通常会使得鱼类产生应激胁迫^[17],本研究结果同样显示,在整个运输过程中,高密度组(16 g/L)皮质醇含量均高于 4、8 g/L 的运输密度组,且在运输 12 h 后,16 g/L 密度组的皮质醇含量显著高于 2 个低密度组。由此推测,较高的运输密度会导致银鲷的应激反应程度增加,这也是最高运输密度组(16 g/L)在运输 12 h 后出现鱼体死亡的原因。目前,以皮质醇为检测指标,分析评估由于运输以及密度所导致的应激反应,在一些鱼类上面已有许多报道。GOMES 等^[18]在对大盖巨脂鲤(*Colossoma macropomum*)的研究发现,较高的运输密度会导致较高的死亡率和血浆皮质醇含量。CONGLETON 等^[19]在对大鳞大麻哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)的研究中同样发现,当运输密度达到最大时,皮质醇含量明显升高。然而,已有的研究表明,尽管运输会不同程度导致鱼体产生应激反应,但不同种类的鱼体在应激胁迫下的生理反应存在着种间差异^[20]。此外,在运输过程中,除了运输密度之外,运输容器的大小同样也是导致鱼体产生应激反应的主要因子之一^[18]。本试验中所用银鲷在运输之前,饲养于水体为 20 m³ 的圆形水泥池中,而运输时所用容器较小,水体体积仅为 25 L,较小的活动空间导致银鲷容易碰撞擦伤,进而导致其应激性反应程度增加。

血糖作为机体的主要功能物质,在体内的含量一般情况下均相对稳定。然而,研究表明,应激反应可导致鱼类血糖含量明显升高,出现高血糖症^[12-13,15]。本研究结果显示,运输胁迫导致血糖含量显著升高,且在整个运输试验过程中,血糖含量均维持在一个较高的水平,这与大西洋鲑(*Salmo salar*)^[13]的研究结果相一致。对于应激作用下血糖升高的原因,已有的研究表明,应激导致血液中儿茶酚胺浓度升高,后者可直接作用于肝脏,致使肝脏糖元分解,最终导致血糖浓度的升高^[21]。此外,一些研究也表明,急性应激作用下,血糖浓度随着皮质类固醇含量的升高而升高^[14,22],本研究的结果也得出相似结论,即运输

胁迫过程中皮质醇含量升高的同时也伴随着血糖含量的升高。而应激作用下血糖含量的升高,其用途可能主要在于提供能量以保障鱼体能够经受住所承受的应激胁迫^[23]。

乳酸主要是肌肉在供氧不足的情况下通过糖酵解产生。水体中溶氧含量低、血液循环缓慢以及剧烈的物理运动都可导致机体乳酸含量的升高^[24]。本试验中,由于在整个运输过程中持续充氧,水体中溶氧含量相对较高。因此,运输过程中银鲟血清与肌肉组织中乳酸含量的升高,主要可能在于运输过程中剧烈的物理运动所致。在剧烈物理运动的情况下,糖酵解的发生,其主要目的可能在于迅速提供能量^[13]。SCHRECK 等^[25]在对大鳞大麻哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)以及 IVERSEN 等^[13]在对大西洋鲑的研究中同样发现,运输胁迫均会导致鱼体组织中乳酸含量的升高。然而,ACERETE 等^[26]在对河鲈(*Perca fluviatilis*)的研究中却发现,运输胁迫并未导致血液中乳酸含量的明显升高,其具体的原因尚需进一步研究。

本研究结果显示,运输胁迫导致银鲟肌肉与肝脏中糖元含量明显降低。然而,两个组织中糖元含量的降低程度则并不相同。肌肉组织仅在运输 2 h 后,其糖元含量显著低于运输前水平,随后的 4~12 h 内,肌糖元含量虽仍低于运输前水平,但与运输前并无显著性差异。而肝脏组织中糖元含量在运输 2~12 h 内,除了 16 g/L 运输 8 h 后的糖元含量之外,其余各时间点的糖元含量均显著低于运输前水平。由此表明,在应激胁迫过程中,肝糖元在能量供给方面要高于肌糖元。BARCELLOS 等^[27]在对克林雷氏鲈(*Rhamdia quelen*)的研究中同样发现,在饥饿胁迫过程中肌糖元含量基本保持不变,而肝糖元含量明显降低。产生此种情况的原因,可能是糖元主要存储于肝脏中,肌糖元含量较低,且肌糖元动员可能主要与肌肉活动有关,而非应激因子本身^[28]。但也有相反的情况,NAVARRO 等^[29]在对河鲈(*Salmo trutta fario*)的研究中发现,8 d 的饥饿胁迫导致其肌肉糖元含量显著降低,而对于产生此种差异的原因,还有待研究分析。

综合本试验结果可知,运输胁迫导致银鲟血清皮质醇、血糖及乳酸含量明显升高,较高的运输密度会导致银鲟应激反应程度的增加;在运输胁

迫下,银鲟血糖含量的升高主要源于肝脏糖元的动员;由研究结果还可推测,在小水体开放式运输的情况下,规格为 10 g 左右的银鲟幼鱼,其运输密度不宜超过 16 g/L。

参考文献:

- [1] FAO. Fishery of shared stock of the silver pomfret, *Pampus argenteus*, in the northern gulf, a case study [R]. FAO Fisheries Report, 2003(695): 44-56.
- [2] WEN T Y, JIAN L, GEN H Y. Multiplex genotyping of novel microsatellites from silver pomfret (*Pampus argenteus*) and cross-amplification in other pomfret species [J]. Molecular Ecology Notes, 2006(6): 1073-1075.
- [3] 施兆鸿,高露姣,谢营梁,等. 舟山渔场银鲟和灰鲟繁殖特性的比较研究[J]. 水产学报, 2006, 30(5): 247-252.
- [4] 施兆鸿,马凌波,高露姣,等. 人工育苗条件下银鲟仔稚幼鱼摄食与生长特性[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(4): 540-549.
- [5] 施兆鸿,赵峰,王建刚,等. 舟山渔场银鲟人工授精及孵化[J]. 渔业现代化, 2009, 36(1): 18-21.
- [6] 彭士明,施兆鸿,孙鹏,等. 养殖密度对银鲟幼鱼生长及组织生化指标的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(7): 1371-1376.
- [7] 彭士明,尹飞,孙鹏,等. 不同饲料对银鲟幼鱼增重率、肝脏脂酶及抗氧化酶活性的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(6): 769-774.
- [8] 刘小玲. 池养黄颡鱼运输应激后在实验循环系统中的恢复和适应过程[J]. 水产学报, 2006, 30(4): 495-501.
- [9] SULIKOWSKI J A, FAIRCHILD E A, RENNELS N, et al. The effects of transport density on cortisol levels in juvenile winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2006, 37(1): 107-112.
- [10] 徐力文,苏友禄,刘广锋,等. 急性盐度胁迫下军曹鱼稚鱼应激反应的血清学指标[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(2): 91-94.
- [11] NOMURA M, SLOMAN K A, VON KEYSERLINGK M A G, et al. Physiology and behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts during commercial land and sea transport [J]. Physiology & Behavior, 2009(96): 233-243.
- [12] KUBOKAWA K, WATANABE T, YOSHIOKA M, et al. Effects of acute stress on plasma cortisol, sex steroid hormone and glucose levels in male and

- female sockeye salmon during the breeding season [J]. *Aquaculture*, 1999(172):335-349.
- [13] IVERSEN M, FINSTAD B, MCKINLEY R S, *et al.* Stress responses in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts during commercial well boat transports, and effects on survival after transfer to sea [J]. *Aquaculture*, 2005(243):373-382.
- [14] LAYS N, IVERSEN M M T, FRANTZEN M, *et al.* Physiological stress responses in spotted wolffish (*Anarhichas minor*) subjected to acute disturbance and progressive hypoxia [J]. *Aquaculture*, 2009(295):126-133.
- [15] URBINATI E C, DE ABREU J S, DA SILVA CAMARGO A C, *et al.* Loading and transport stress of juvenile matrinxã (*Brycon cephalus*, Characidae) at various densities [J]. *Aquaculture*, 2004(229):389-400.
- [16] TRUSHENSKI J, SCHWARZ M, TAKEUCHI R, *et al.* Physiological responses of cobia *Rachycentron canadum* following exposure to low water and air exposure stress challenges [J]. *Aquaculture*, 2010(307):173-177.
- [17] SKJERVOLD P O, FJÆRA S O, ØSTBY P B, *et al.* Live-chilling and crowding stress before slaughter of Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Aquaculture*, 2001(192):265-280.
- [18] GOMES L C, ARAUJO-LIMA C A R M, ROUBACH R, *et al.* Effect of fish density during transportation on stress and mortality of juvenile tambaqui *Colossoma macropomum* [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2003,34(1):76-84.
- [19] CONGLETON J L, LAVOIE W J, SCHRECK C B, *et al.* Stress indices in migrating juvenile chinook salmon and steelhead of wild and hatchery origin before and after barge transportation [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2000, 129(4):946-961.
- [20] BARTON B A, HAUKENES A H, PARSONS B G, *et al.* Plasma cortisol and chloride stress responses in juvenile walleyes during capture, transport, and stocking procedures [J]. *North American Journal of Aquaculture*, 2003,65(3):210-219.
- [21] AXELROD J, REISINE T D. Stress hormones: their interaction and regulation [J]. *Science*, 1984(224):452-459.
- [22] 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*, 1997(116):89-95.
- [23] MOMMSEN T P, VIJAYAN M M, MOON T W. Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation [J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 1999(9):211-268.
- [24] OLSEN Y A, EINARSDOTTIR I E, NILSSEN K J. Metomidate anaesthesia in Atlantic salmon, *Salmo salar*, prevents plasma cortisol increase during stress [J]. *Aquaculture*, 1995(134):155-168.
- [25] SCHRECK C B, JONSSON L, FEIST G, *et al.* Conditioning improves performance of juvenile chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*, to transportation stress [J]. *Aquaculture*, 1995(135):99-110.
- [26] ACERETE L, BALASCH J C, ESPINOSA E, *et al.* Physiological responses in Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.) subjected to stress by transport and handling [J]. *Aquaculture*, 2004(237):167-178.
- [27] BARCELLOS L J G, MARQUEZE A, TRAPP M, *et al.* The effects of fasting on cortisol, blood glucose and liver and muscle glycogen in adult jundiá *Rhamdia quelen* [J]. *Aquaculture*, 2010(300):231-236.
- [28] NAVARRO I, GUTIÉRREZ J. Fasting and starvation [M] // *Biochemistry and Molecular Biology of Fishes*, 1995:393-434.
- [29] NAVARRO I, GUTIÉRREZ J, PLANAS J. Changes in plasma glucagon, insulin and tissue metabolites associated with prolonged fasting in brown trout (*Salmo trutta fario*) during two different seasons of the year [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 1992(102):401-407.

Effect of transportation stress on serum cortisol, glucose, tissue glycogen and lactate of juvenile silver pomfret (*Pampus argenteus*)

PENG Shi-ming¹, SHI Zhao-hong^{1*}, LI Jie², YIN Fei¹, SUN Peng¹, WANG Jian-gang¹

(1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

2. Torch High Technology Industry Development Center, the Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing 100045, China)

Abstract: The effects of 2, 4, 8 and 12 h transportation stress on serum cortisol, glucose, tissue glycogen and lactate of juvenile silver pomfret (*Pampus argenteus*) with an average weight of (10.05 ± 0.23) g were evaluated at densities of 4, 8 and 16 g/L. After transportation, fish from each density were moved into separate 1 m³ tanks for 24 h, and the 24 h cumulative mortality was monitored. The results showed that, the survival rate of fish at density of 16 g/L after 12 h transportation was 91.25%, and the others were 100%; Serum cortisol contents increased significantly after transportation ($P < 0.05$), and the maximum was observed after 4 h transportation. At all densities, the serum cortisol contents after 12 h transportation were lower than those after 4 h transportation, but significantly higher than that of 0 h transportation. After 12 h transportation, the cortisol content of fish at density of 16 g/L was significantly higher than those at densities of 4 g/L and 8 g/L, respectively ($P < 0.05$). Serum glucose, serum lactate and muscle lactate contents were all significantly increased after transportation ($P < 0.05$). On the contrary, liver and muscle glycogen contents were all significantly reduced after transportation ($P < 0.05$). However, during the transportation, more glycogen mobilization occurred in the liver instead of the muscle. In conclusion, higher transportation density could increase the stress response of silver pomfret, the transportation density of silver pomfret with an average weight of 10 g should not exceed 16 g/L in the open system and small water volume conditions. Additionally, liver glycogen makes the most potential contribution to total energy expenditure during the whole transportation.

Key words: *Pampus argenteus*; transportation; stress; cortisol; glucose; lactate

Corresponding author: SHI Zhao-hong. E-mail: shizhh@hotmail.com