

运输密度和盐度对大黄鱼幼鱼皮质醇、 糖元及乳酸含量的影响

张 伟, 王有基, 李伟明, 吕为群*

(上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 为了确定大黄鱼运输的适宜条件, 实验选取平均体质量为 (0.12 ± 0.03) g 的大黄鱼幼鱼为实验对象, 采取析因设计, 设 3 个运输密度(2、4 和 8 g/L)和 5 个运输盐度(5、10、15、20 和 25), 共计 15 个处理组研究了不同密度和盐度运输条件下, 大黄鱼幼鱼皮质醇、糖元及乳酸含量的变化。经过水温 $16.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、10 h 的运输, 统计各组的死亡率, 测定各组水中总氮氮含量。结果显示, 在运输结束后, 4 和 8 g/L 密度组死亡率(1.33%、2.63%)显著高于 2 g/L 密度组(0.77%), 盐度 25 组死亡率(0.44%)显著低于盐度 10、15 组(1.94%、1.67%), 盐度 10、15 组死亡率显著低于盐度 5 组(2.72%), 各组水中总氮氮含量较运输前(0.15 mg/L)均显著升高, 各密度组水中总氮氮含量均有显著性差异, 高密度组总氮氮含量高于低密度组, 8 g/L 密度条件下盐度 5 组水中总氮氮含量(1.63 mg/L)显著高于盐度 15(1.38 mg/L)、盐度 20(1.34 mg/L)和盐度 25(1.31 mg/L)组, 4 g/L 密度条件下盐度 5 组水中总氮氮含量(1.31 mg/L)显著高于其他各盐度组, 2 g/L 密度条件下盐度 5 组水中总氮氮含量(0.83 mg/L)显著高于盐度 25 组(0.49 mg/L); 运输胁迫导致各组皮质醇含量均较运输前(6 476.35 ng/L)显著升高, 各组间皮质醇含量无显著性差异; 各组糖元含量均较运输前(4.37 mg/g prot)显著降低, 运输后各组间糖元含量无显著性差异; 各组乳酸含量均较运输前(0.57 mmol/g prot)显著升高, 运输后各密度组间乳酸含量无显著性差异, 3 个密度下盐度 5 组乳酸含量(1.91、2.02、1.76 mmol/g prot)均显著高于盐度 20(1.55、1.21、1.69 mmol/g prot)和盐度 25 组(1.36、1.44、1.26 mmol/g prot), 盐度 10 组乳酸含量(1.77、1.83、1.60 mmol/g prot)显著高于盐度 25 组(1.36、1.44、1.26 mmol/g prot)。研究表明, 较高的运输密度和较低的盐度会加重大黄鱼的应激性反应, 在本实验条件下, 规格为 0.1 g 左右的大黄鱼幼鱼, 其运输密度不宜超过 8 g/L, 盐度不宜低于 5。

关键词: 大黄鱼; 运输; 胁迫; 皮质醇; 糖元; 乳酸

中图分类号: S 965.3

文献标志码: A

大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 隶属鲈形目 (Perciformes)、石首鱼科 (Sciaenidae)、黄鱼属 (*Larimichthys*), 是我国主要的海产经济鱼类之一, 由于 20 世纪 70 年代后的酷渔滥捕, 造成大黄鱼天然资源接近枯竭。目前, 大黄鱼人工繁育与养殖技术已经成熟, 并实现了产业化养殖, 养殖产量已居我国海水鱼类养殖产量的前

列^[1]。然而, 由于养殖区域水质下降, 各种海水病原体的大量繁殖, 尤其是刺激隐核虫致使养殖大黄鱼疾病频繁发生, 造成上亿元的经济损失。利用内陆及河口丰富的咸淡水和淡水资源进行大黄鱼养殖是大黄鱼健康增养殖潜在的一条新途径, 但由于大黄鱼强烈的应激性反应给鱼苗运输造成了一定的问题。如何进行海水鱼

收稿日期:2013-10-14 修回日期:2013-12-05

资助项目:上海市科学技术委员会重点项目(10JC1406200;11320501200);国家自然科学基金(31072228);上海高校水产学一流学科建设项目

通信作者:吕为群, E-mail:wqlv@shou.edu.cn

苗的运输,如采用多少盐度和密度运输可以保证较高的成活率和较低的后续死亡率成为大黄鱼鱼苗运输的一项重要研究内容。鱼类运输应激反应存在于捕获、装载、运输、卸载和暂养过程中,且可能对鱼苗生长产生长期的影响。目前对鱼类运输应激的研究主要有模拟运输和实际运输两种模式,集中于对运输前、运输过程中及运输后各应激指标及水质指标的变化情况。对不同运输条件,如温度、密度及盐度等或不同运输条件的组合作用对鱼苗应激的影响研究较少。已有研究表明,皮质醇、糖元以及乳酸等应激生理指标和水中氨氮、溶氧和 pH 的变化随应激程度的不同可呈现规律性的变化^[2-5],因此,这些指标被广泛用于研究分析鱼类机体应激的反应程度。本实验分析了在不同密度和不同盐度运输条件下,大黄鱼幼鱼皮质醇、糖元、乳酸等含量的变化和差异,以期探明导致大黄鱼运输死亡的可能原因,并探讨大黄鱼在运输胁迫下机体的自我调节机制及适宜的运输条件,为大黄鱼的苗种运输和咸淡水或淡水养殖生产提供参考。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验用大黄鱼为宁德市横屿岛水产有限公司人工培育获得的种苗,实验前的大黄鱼幼鱼饲养于海上鱼排中(盐度 25,水温 16.5 °C),选取大小规格相近的大黄鱼幼鱼为实验对象,平均体长为(2.49 ± 0.48) cm,平均体质量为(0.12 ± 0.03) g。先将鱼转移到养殖场中暂养 7 天,前 3 天每天用 0.06% 的甲醛溶液消毒鱼体 1 次,运输前 1 天停止喂食。

1.2 实验设计

采用双层塑料尼龙袋充氧封闭运输的方法,每袋放 3 L 海水,放入鱼后充满氧气并用皮筋扎好。将运输包放入泡沫箱并码放于运输货车上,运输时间为 10 h。采用析因设计,共设 3 个运输密度分别为 2、4 和 8 g/L(即 3 L 的运输水体中分别放置平均体质量为 0.12 g 的大黄鱼幼鱼 50、100 和 200 尾)和 5 个盐度(5、10、15、20、25),总共 15 个处理组。每个组设 3 个运输包作为重复,共 45 个运输包。养殖场海水盐度为 25,各盐度组海水用曝气过的淡水稀释而成,用美国 YSI

ProPlus 型便携式多参数水质测定仪准确校正盐度,海水 pH 为 7.86,水温是自然水温 16.5 °C,运输包内水中溶氧为饱和状态。

1.3 样品采集与分析

实验开始之前,随机选取已筛选出的大黄鱼幼鱼 9 尾作为实验初样品。运输结束后打开运输包记录死亡率并取样,从每包中随机取 9 尾鱼作为样品鱼和 50 mL 水样。水样测定总氨氮含量,鱼样采集时用碎冰迅速将样鱼冰晕后保存于 -80 °C 冰箱中待测。检测样品鱼时在冰浴条件下加 5 倍于样品量的磷酸缓冲液(PBS)(pH 7.4)后用匀浆器将标本匀浆充分,离心 20 min(2 000 ~ 3 000 r/min)收集上清待测,全鱼皮质醇的测定采用酶联免疫法,试剂盒为美国 RB(Rapidbio)公司的海水鱼皮质醇 ELISA 试剂盒。糖元、乳酸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。总氨氮含量采用次溴酸钠氧化法测定。

1.4 数据处理

实验数据经 Excel 2007 处理后,以密度和盐度作为自变量,用 SPSS 17.0 软件进行双因素方差分析(Two-Way ANOVA),如果出现显著交互影响作用,则固定其中一个因素的水平,做另外一个因素的单因素方差分析(One-Way ANOVA)或 *t* 检验,用 SNK 多重比较法进行组间差异显著性检验,以 $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。统计值均用平均值 ± 标准差(mean ± SD)表示。

2 结果

2.1 运输后大黄鱼幼鱼的死亡率

密度和盐度双因素对运输后大黄鱼幼鱼死亡率无交互作用($P > 0.05$)(表 1)。运输结束后,4 和 8 g/L 密度组死亡率显著高于 2 g/L 密度组($P < 0.05$),盐度 25 组死亡率显著低于盐度 10、15 组($P < 0.05$),盐度 10、15 组死亡率显著低于盐度 5 组($P < 0.05$)(图 1)。

2.2 运输后各实验组水中总氨氮含量

密度和盐度双因素对运输后大黄鱼幼鱼全鱼皮质醇含量有显著交互作用($P < 0.05$)(表 1),运输结束后各实验组水中总氨氮含量均较运输前显著升高($P < 0.05$),各密度组水中总氨氮含量均有显著性差异($P < 0.05$),高密度组总氨氮含

量高于低密度组。8 g/L 密度条件下盐度 5 组水中总氨氮含量显著高于盐度 15、20 和 25 组, 4 g/L 密度条件下盐度 5 组水中总氨氮含量显著高于其他各盐度组, 2 g/L 密度条件下盐度 5 组水中总氨氮含量显著高于盐度 25 组 ($P < 0.05$) (图 2)。

表 1 双因素方差分析密度和盐度对大黄鱼幼鱼死亡率、总氨氮、皮质醇、乳酸和糖元含量的影响

Tab.1 Summary of two-way ANOVA results of effects of density and salinity on mortality, total ammonia nitrogen, cortisol, lactate and glycogen content

变异来源 source	自由度 df	均方 Ms	F	P
死亡率 mortality				
密度 density	2	0.001	21.891	0.000
盐度 salinity	4	0.001	10.590	0.000
密度 × 盐度 density × salinity	8	9.481E-5	1.510	0.196
误差 error	30	6.280E-5		
总氨氮 total ammonia nitrogen				
密度 density	2	2.166	5 249.844	0.000
盐度 salinity	4	0.153	371.788	0.000
密度 × 盐度 density × salinity	8	0.010	24.454	0.000
误差 error	30	0.000		
皮质醇 cortisol				
密度 density	2	1.192E7	0.275	0.761
盐度 salinity	4	6.769E7	1.562	0.210
密度 × 盐度 density × salinity	8	1 754 159.688	0.040	1.000
误差 error	30	4.335E7		
乳酸 lactate				
密度 density	2	0.102	1.910	0.166
盐度 salinity	4	0.333	6.211	0.001
密度 × 盐度 density × salinity	8	0.006	0.111	0.998
误差 error	30	0.054		
糖元 glycogen content				
密度 density	2	0.067	0.172	0.842
盐度 salinity	4	0.798	2.057	0.111
密度 × 盐度 density × salinity	8	0.002	0.006	1.000
误差 error	30	0.388		

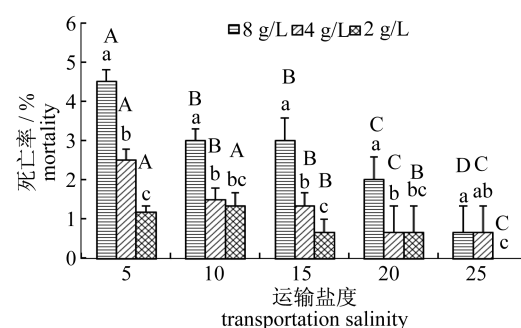


图 1 运输结束后大黄鱼的死亡率

小写字母表示同一盐度不同密度组之间有显著性差异 ($P < 0.05$); 大写字母表示同一密度不同盐度组之间有显著性差异 ($P < 0.05$)。以下注释同此

Fig. 1 Mortality of large yellow croaker after transportation

Bars with different lowercase letters at the same salinity denote significant differences at $P < 0.05$; Bars with different capital letters at the same density denote significant differences at $P < 0.05$. The same as the following

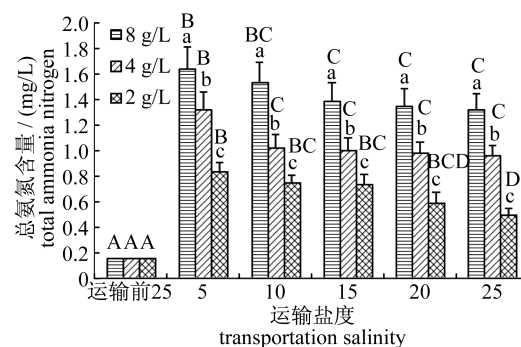


图 2 运输结束后水中总氨氮含量

Fig. 2 Total ammonia nitrogen in water of large yellow croaker after transportation

2.3 运输后各实验组全鱼皮质醇含量

密度和盐度双因素对运输后大黄鱼幼鱼全鱼皮质醇含量无显著交互作用 ($P > 0.05$) (表 1), 运输结束后, 各实验组全鱼皮质醇含量均较运输前显著升高 ($P < 0.05$), 各组间全鱼皮质醇含量无显著性差异 ($P > 0.05$) (图 3)。

2.4 运输后各实验组全鱼乳酸含量

密度和盐度双因素对运输后大黄鱼幼鱼全鱼乳酸含量无显著交互作用 ($P > 0.05$) (表 1), 运输结束后, 各实验组全鱼乳酸含量均较运输前显著升高 ($P < 0.05$), 各密度组间全鱼乳酸含量无显著性差异 ($P > 0.05$), 盐度 5 组全鱼乳酸含量显著高于盐度 25 组 ($P < 0.05$) (图 4)。

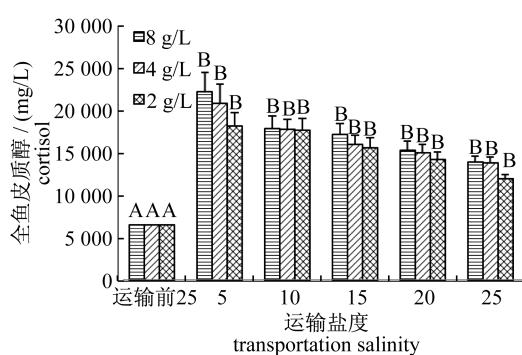


图3 运输结束后全鱼皮质醇含量

Fig. 3 Concentrations of cortisol of large yellow croaker after transportation

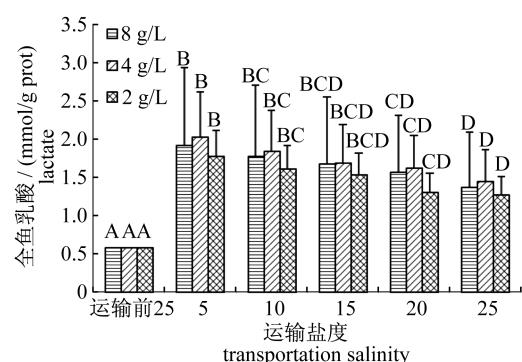


图4 运输结束后全鱼乳酸含量

Fig. 4 Concentrations of lactate of large yellow croaker after transportation

2.5 运输后各实验组全鱼糖元含量

密度和盐度双因素对运输后大黄鱼幼鱼全鱼糖元含量无显著交互作用 ($P > 0.05$) (表1), 运输结束后, 各实验组全鱼糖元含量均较运输前显著降低 ($P < 0.05$), 各组间全鱼糖元含量无显著性差异 ($P > 0.05$) (图5)。

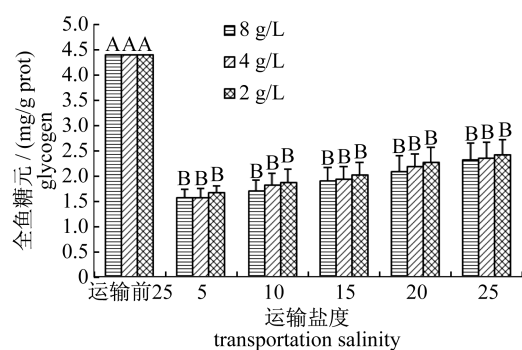


图5 运输结束后全鱼糖元含量

Fig. 5 Concentrations of glycogen of large yellow croaker after transportation

3 讨论

一些鱼类生理学指标的变化可以有效地反映其应激程度。建立应激操作(如鱼类运输)方面的技术规范,可以有效地指导生产实践。本实验中,4和8 g/L密度组死亡率显著高于2 g/L密度组,盐度25组死亡率显著低于盐度10、15组,盐度10、15组死亡率显著低于盐度5组,该结果意味着较高密度和较低盐度对鱼苗的运输具有负面作用,相关研究也表明,较高密度和较多偏离其正常生活盐度都会对鱼类或甲壳类的运输产生较大负面影响^[6-9]。但无论是高密度组还是低盐度组的平均死亡率都在3%以下,说明了大黄鱼幼鱼对运输胁迫具有一定的抗逆性。有相关研究表明,海水鱼幼鱼在较低盐度(12)和较高密度(10 g/L)下运输不会造成很大的死亡率^[10]。由此可以推断,采用本实验的运输条件,在运输10 h的情况下,大黄鱼幼鱼可以承受8 g/L的运输密度和运输盐度5所带来的应激反应,且不会引起运输后大量幼鱼发生死亡。

在活鱼封闭运输过程中,鱼体新陈代谢会向水体中排放大量非离子氨,导致水体中氨氮含量增加,氨氮含量增加到一定程度就会抑制鱼排氨,从而导致鱼血液中氨氮含量增加,降低血液载氧能力,鱼严重缺氧即会导致死亡^[11]。所以,水中总氨氮含量是影响鱼运输成活率的重要指标。本实验中,各组水中总氨氮含量较运输前均显著升高,各密度组水中总氨氮含量均有显著性差异,高密度组总氨氮含量高于低密度组,8 g/L密度条件下盐度5组水中总氨氮含量显著高于盐度15、20和25组,4 g/L密度条件下盐度5组水中总氨氮含量显著高于其他各盐度组,2 g/L密度条件下盐度5组水中总氨氮含量显著高于盐度25组 ($P < 0.05$),说明水中总氨氮的含量成为大黄鱼运输中一个重要的应激因子,势必会造成机体的皮质醇水平升高。很多研究表明,较高密度和较长时间是导致运输水体中总氨氮升高的主要条件^[12-16]。由此可以推断,在本实验条件下,盐度并未对水中总氨氮的含量增加起决定性作用,水中总氨氮含量差异主要是由运输密度的大小所导致。运输后水中氨氮含量皆未达到鱼类致死浓度,所以对死亡率没有太大的影响。一些研究表明,在运输4~5 h后水中总氨氮即会达到最大

- affecting survival of cobia, *Rachycentron canadum*, during simulated transport [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2008, 39(5): 678 - 683.
- [8] Kou X M, Zhang J H, Zhagn J T, *et al.* Simulative study on influences of salinity and time on transport of *Procambrarus clarkii* crayfish [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2012, 24(2): 138 - 139. [寇祥明, 张家宏, 张聚涛, 等. 盐度和时间对运输克氏原螯虾虾苗影响的模拟研究. 江西农业学报, 2012, 24(2): 138 - 139.]
- [9] Dong S J, Liang Y J, Sun X J, *et al.* Effects of Salinity, Temperature and pH on ammonia and organic matter excretion of the false clown fish (*Amphiprion ocellaris*) brood stocks in transport experiment [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2013, 19(3): 32 - 37. [董少杰, 梁拥军, 孙向军, 等. 运输条件下温度、盐度和 pH 值对眼斑双锯鱼亲鱼氨和有机物排泄的影响. 天津农业科学, 2013, 19(3): 32 - 37.]
- [10] Stieglitz J D, Benetti D D, Serafy J E. Optimizing transport of live juvenile cobia (*Rachycentron canadum*): Effects of salinity and shipping biomass [J]. Aquaculture, 2012, 364: 293 - 297.
- [11] Zhao D, Lou Y J. Technology of reducing ammonia-nitrogen discharged by fish in water [J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(4): 107 - 112. [赵丹, 娄永江. 降低活鱼水体氨氮的技术. 渔业科学进展, 2012, 33(4): 107 - 112.]
- [12] Carneiro P C F, Urbinati E C. Transport stress in matrinxã, *Brycon cephalus* (Teleostei: Characidae), at different densities [J]. Aquaculture International, 2002, 10(3): 221 - 229.
- [13] Treasurer J W. Remediation of ammonia accumulation during live transport of juvenile cod, *Gadus morhua* L., and the effects of fast period on ammonia levels and water quality [J]. Aquaculture, 2010, 308(3): 190 - 195.
- [14] Erikson U, Sigholt T, Seland A. Handling stress and water quality during live transportation and slaughter of Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Aquaculture, 1997, 149(3): 243 - 252.
- [15] Kayali B, Yigit M, Bulut M. Evaluation of the recovery time of sea bass (*Dicentrarchus labrax* Linnaeus, 1758) juveniles from transport and handling stress; using ammonia nitrogen excretion rates, as a stress indicator [J]. Journal of Marine Science and Technology, 2011, 19(6): 681 - 685.
- [16] Pavlidis M, Angellotti L, Papandroulakis N, *et al.* Evaluation of transportation procedures on water quality and fry performance in red porgy (*Pagrus pagrus*) fry [J]. Aquaculture, 2003, 218(1 - 4): 187 - 202.
- [17] Wang J Q, Jin X M, Zhang J C. Effect of density and water temperature on survival and evisceration of juvenile sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) in the process of transportation [J]. Modern Fisheries Information, 2012, 33(4): 107 - 112. [王吉桥, 靳晓明, 张剑诚. 密度和水温对仿刺参 (*Apostichopus japonicas* Selenka) 幼参运输成活和排脏的影响. 渔业科学进展, 2012, 33(4): 107 - 112.]
- [18] Wendelaar-Bonga S E. The stress response in fish [J]. Physiological Reviews, 1997, 77(3): 591 - 625.
- [19] Sulikowski J A, Fairchild E A, Rennels N, *et al.* The effects of tagging and transport on stress in juvenile winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus*: implications for successful stock enhancement [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2005, 36(1): 148 - 156.
- [20] Frisch A J, Anderson T A. The response of coral trout (*Plectropomus leopardus*) to capture, handling and transport and shallow water stress [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2000, 23(1): 23 - 24.
- [21] Bandeen J, Leatherland J F. Transportation and handling stress of white suckers raised in cages [J]. Aquaculture International, 1997, 5(5): 385 - 396.
- [22] Serra M, Wolkers C P B, Hoshiba M A, *et al.* Physiological responses of piau (*Leporinus friderici*, Bloch 1794) to transportation [J]. Revista Brasileira de Zootecnia, 2011, 40(12): 2641 - 2645.
- [23] Urbinati E C, Abreu J S, Camargo A C S, *et al.* Loading and transport stress of juvenile matrinxã (*Brycon cephalus*, Characidae) at various densities [J]. Aquaculture, 2004, 229(1): 389 - 400.
- [24] Adamante W B, Nuñez A P O, Barcellos L J G, *et al.* Stress in *Salminus brasiliensis* fingerlings due to different densities and times of transportation [J]. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 2008, 60(3): 755 - 761.
- [25] Carneiro P C F, Kaiseler P H S, Swarofsky E A C, *et al.* Transport of jundiá *Rhamdia quelen* juveniles at different loading densities; water quality and blood parameters [J]. Neotropical Ichthyology, 2009, 7(2): 283 - 288.
- [26] Scott G R, Schultel P M, Wood C M. Plasticity of osmoregulatory function in the killifish intestine: drinking rates, salt and water transport, and gene

- expression after freshwater transfer[J]. The Journal of Experimental Biology, 2006, 209 (20): 4040 - 4050.
- [27] Hasan M, Bart A N. Effects of capture, loading density and transport stress on the mortality, physiological responses, bacterial density and growth of rohu *Labeo rohita* fingerlings[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2007, 33(3) :241 - 248.
- [28] 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.
- [29] Du H, Wei W, Gan F, *et al.* Changes in serum cortisol and blood biochemical parameters after stress in American shad[J]. Chinese Journal of Zoology, 2006, 41(3) :80 - 84. [杜浩, 危起伟, 甘芳, 等. 美洲鲥应激后皮质醇激素和血液生化指标的变化. 动物学杂志, 2006, 41(3) :80 - 84.]
- [30] Ince B W, Thorpe A. The effects of starvation and force-feeding on the metabolism of the northern pike, *Esox lucius* L. [J]. Journal of Fish Biology, 1976, 8(1) :79 - 88.
- [31] Satoh S, Takeuchi H, Watanabe T. Effect of starvation and environmental temperature on proximate and fatty acid composition of *Tilapia nilotica* [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1984, 50:79 - 84.
- [32] Yin S W, Lin X Q, Chen J H. Effect of feed deprivation or ration restriction and refeeding on biochemical composition of mud carp, *Cirrhinus chinensis* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2004, 28 (3) :253 - 259. [殷帅文, 林学群, 陈洁辉. 限食和再恢复投喂对鲢鱼生化组成的影响. 水生生物学报, 2004, 28(3) :253 - 259.]
- [33] Moon T M. Metabolic reserves and enzyme activities with food deprivation in immature American eels, *Anguilla rostrata*(LeSueur) [J]. Canadian Journal of Zoology, 1983, 61(4) :802 - 811.
- [34] Murchie K J, Danylchuk S E, Pullen C E, *et al.* Strategies for the capture and transport of bonefish, *Albula vulpes*, from tidal creeks to a marine research laboratory for long-term holding [J]. Aquaculture Research, 2009, 40(13) :1538 - 1550.
- [35] Moran D, Wells R M G, Pether S J. Low stress response exhibited by juvenile yellowtail kingfish (*Seriola lalandi* Valenciennes) exposed to hypercapnic conditions associated with transportation [J]. Aquaculture Research, 2008, 39 (13): 1399 - 1407.
- [36] 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(1 - 3) :99 - 110.

值^[17],本实验运输 10 h 水中总氮氮已经达到了最大值且一直保持稳定,运输结束后及时将幼鱼转移至新鲜水体中暂养,解除氮氮胁迫会对幼鱼后续的成活起到积极作用。

鱼类受到胁迫因子作用时,其下丘脑-垂体-肾间组织轴(HPI)会迅速作出反应,促进促肾上腺皮质激素(ACTH)的释放,从而导致头肾细胞皮质醇激素的合成与释放^[18]。鱼体皮质醇含量的变化是体现应激程度的重要生理学指标之一。许多研究表明,鱼在经受了运输胁迫后皮质醇含量会显著升高^[19-21]。在本实验中,运输胁迫也导致了各组全鱼皮质醇含量均较运输前显著升高。关于运输密度和盐度对皮质醇含量的影响也多有报道^[22-26]。本实验中高密度组和低盐度组全鱼皮质醇含量普遍高于低密度组和高盐度组,但无显著性差异。有研究表明运输 9 h 后各密度组皮质醇达到最高值,但不会引起大量的直接死亡,这与本实验结果相近^[27]。还有研究表明,随着运输时间加长,高密度组皮质醇显著增加^[28]。这主要是由于较高的密度使得鱼体在长时间运输过程中相互碰撞摩擦的几率更多导致,水中总氮氮升高造成的胁迫对皮质醇的升高也起到一定作用。

皮质类固醇可使机体各组织对葡萄糖的利用率降低,同时使肝脏的糖元异生作用增强^[29]。本实验各组全鱼糖元含量均较运输前显著降低,各组间全鱼糖元含量无显著性差异,说明在运输胁迫下鱼体产生的大量皮质醇使鱼体组织对葡萄糖的利用率降低,从而促使糖元异生为机体供能。由于运输前采取了停食处理,导致了各组鱼可能在运输早期就开始分解糖元供能,以致运输结束各组糖元水平都达到了较低水平。研究表明,多数鱼类饥饿状态会先消耗糖元来维持机体供能^[30-32],也有少数鱼类会保留糖元靠其他物质供能^[33]。各组全鱼乳酸含量均较运输前显著升高,各密度组间全鱼乳酸含量无显著性差异,由于采用双层塑料尼龙袋充氧封闭运输,运输时间较长,袋内氧气得不到补充,导致各组鱼无氧代谢增强,乳酸水平普遍较高。相关研究也表明,鱼类经过运输乳酸含量会在某个时间达到较高水平^[34-36],盐度 5 组全鱼乳酸含量显著高于盐度 25 组。较低盐度可能需要更多的能量来调节渗透压平衡,从而导致了乳酸的大量产生。

本结果表明,运输密度和盐度对大黄鱼幼鱼

的死亡率及部分应激及生理指标并未产生显著的交互作用,只对运输水体中的总氮氮含量产生了显著的交互作用,说明大黄鱼幼鱼对密度和盐度有着较强的适应能力。运输胁迫导致大黄鱼皮质醇、乳酸含量及水中总氮氮含量明显升高,糖元含量明显降低,较高的运输密度和较低的盐度会导致大黄鱼应激反应程度的增加。另外,实验结果还得出在本实验条件下,规格为 0.1 g 左右的大黄鱼幼鱼,其运输密度不宜超过 8 g/L,盐度不宜低于 5。

参考文献:

- [1] Liu H L. The present status and prospects for fisheries aquaculture [J]. Fishery Modernization, 2005(6):3-5. [刘焕亮. 2004 年我国鱼类养殖产量、构成与展望. 渔业现代化, 2005(6):3-5.]
- [2] Peng S M, Shi Z H, Li J, et al. Effect of transportation stress on serum cortisol, glucose, tissue glycogen and lactate of juvenile silver pomfret (*Pampus argenteus*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(6):831-837. [彭士明, 施兆鸿, 李杰, 等. 运输胁迫对银鲷血清皮质醇、血糖、组织中糖元及乳酸含量的影响. 水产学报, 2011, 35(6):831-837.]
- [3] Zhu J K, Yang Z W, Ding L, et al. Proper density and temperature for living transportation of *Pagrosomus major* and *Haplochromis nitens* [J]. Fishery Modernization, 2010, 37(5):1-8. [朱健康, 杨章武, 丁兰, 等. 真鲷和斜带髯鲷活鱼运输的适宜密度和水温. 渔业现代化, 2010, 37(5):1-8.]
- [4] Treasurer J W. Changes in pH during transport of juvenile cod *Gadus morhua* L. and stabilization using buffering agents [J]. Aquaculture, 2012, 330-333:92-99.
- [5] Oyoo-Okoth E, Cherop L, Ngugi C C, et al. Survival and physiological response of *Labeo victorinus* (Pisces: Cyprinidae, Boulenger 1901) juveniles to transport stress under a salinity gradient [J]. Aquaculture, 2011, 319(1-2):226-231.
- [6] Tang S, Thorarensen H, Brauner C J, et al. Modeling the accumulation of CO₂ during high density, recirculating transport of adult Atlantic salmon, *Salmo salar*, from observations aboard a sea-going commercial live-haul vessel [J]. Aquaculture, 2009, 296(1-2):102-109.
- [7] Colburn H R, Walker A B, Berlinsky D L. Factors

Effects of transportation density and salinity on cortisol, glycogen and lactate of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) juveniles

ZHANG Wei, WANG Youji, LI Weiming, LÜ Weiqun*

(College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to determine the transport conditions of large yellow croaker, this paper studied changes of cortisol, glycogen and lactate of large yellow croaker juveniles under the conditions of different density and salinity during transportation. The average body mass of large yellow croaker juveniles was 0.12 ± 0.03 g, three treatments of density (2, 4 and 8 g/L) and five treatments of salinity (5, 10, 15, 20 and 25), totally fifteen treatments were set up. After the transportation of 10 h at $16.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, mortality and total ammonia nitrogen in water of each group were determined. Results showed that groups with 4 and 8 g/L density (1.33%, 2.63%) had significantly higher mortalities than the group of density of 2 g/L (0.77%) ($P < 0.05$), and group of salinity 25 (0.44%) had a significantly lower mortality than that at salinity of 10 and 15 (1.94%, 1.67%) ($P < 0.05$), groups with salinity 10 and 15 had a significantly lower mortality than salinity 5 group (2.72%) ($P < 0.05$). Total ammonia nitrogen in water was significantly increased after transportation compared with before (0.15 mg/L) ($P < 0.05$), the total ammonia nitrogen in water were significantly different among different density groups ($P < 0.05$), total ammonia nitrogen content in high density group was higher than that in low density groups; 8 g/L density under the condition of salinity 5 group (1.63 mg/L) had a significantly higher content of total ammonia nitrogen in water salinity of 15 (1.38 mg/L), 20 (1.34 mg/L) and 25 (1.31 mg/L) salinity groups, 4 g/L density under the condition of 5 salinity group (1.31 mg/L) had a significantly higher content of total ammonia nitrogen in water with the salinity group, 2 g/L density under the condition of 5 group (0.83 mg/L) had a significantly higher content of total ammonia nitrogen in water salinity 25 group (0.49 mg/L) ($P < 0.05$). Cortisol levels after transportation were significantly increased compared before transportation (6 476.35 ng/L) ($P < 0.05$); however, cortisol levels showed no significant difference between groups ($P > 0.05$). Glycogen content in each group was significantly reduced compared before transportation (4.37 mg/g prot) ($P < 0.05$), and there was no significant difference between groups ($P > 0.05$). Lactic acid content in each group was significantly higher than that before transportation (0.57 mmol/g prot) ($P < 0.05$), the density had no significant effect on lactic acid levels ($P > 0.05$), for salinity, lactic acid content of salinity 5 group at each density (1.91 mmol/g prot, 2.02 mmol/g prot, 1.76 mmol/g prot) was significantly higher than salinity 20 (1.55 mmol/g prot, 1.21 mmol/g prot, 1.69 mmol/g prot) and 25 group (1.36 mmol/g prot, 1.44 mmol/g prot, 1.26 mmol/g prot) ($P < 0.05$), lactic acid content of salinity 10 group (1.77 mmol/g prot, 1.83 mmol/g prot, 1.60 mmol/g prot) was significantly higher than salinity 25 group (1.36 mmol/g prot, 1.44 mmol/g prot, 1.26 mmol/g prot) ($P < 0.05$). Statistical analysis showed high transport density and lower salinity can aggravate the stress responses of large yellow croaker juveniles, suggesting that in the conditions of transportation, and with specifications of large yellow croaker larvae around 0.1 g, the transportation requirements should not be higher than 8 g/L in density, and lower than 5 of salinity.

Key words: *Larimichthys crocea*; transportation; stress; cortisol; glycogen; lactic acid

Corresponding author: LÜ Weiqun. E-mail: wqlv@shou.edu.cn