



## 有水与无水保活运输对大菱鲆生理应激及鱼肉品质的影响

曹杰<sup>1</sup>, 王琪<sup>1</sup>, 梅俊<sup>1,2,3</sup>, 谢晶<sup>1,2,3,4\*</sup>

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学, 食品科学与工程国家级实验教学示范中心, 上海 201306;

3. 上海海洋大学, 上海水产品加工及贮藏工程技术中心, 上海 201306;

4. 教育部海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心, 大连 116034)

**摘要:** 为探究大菱鲆分别在有水及无水条件下运输过程中生理生化指标及肌肉品质的变化, 为大菱鲆的保活运输提供参考。将大菱鲆进行暂养、降温、充氧包装后进行模拟运输, 并在运输不同时间段取样, 检测大菱鲆生理生化指标及肌肉指标。结果显示, 模拟运输 18 h 后, 有水运输组和无水运输组中的大菱鲆存活率仍为 100%。大菱鲆肌肉中水分含量、粗脂肪、pH、糖原、三磷酸腺苷 (ATP) 和腺苷酸 (AMP) 含量显著降低, 乳酸和肌苷酸 (IMP) 含量升高。其中, 有水运输组中的大菱鲆 AMP 含量降低了 38.65%, IMP 含量增加了 29.1%, 无水运输组中的大菱鲆 AMP 含量降低了 12.83%, IMP 含量增加了 28.47%。大菱鲆血液生化指标中, 葡萄糖、尿素氮和皮质醇含量显著升高。运输过程后, 无水运输组中大菱鲆生理应激及能量代谢指标的变化幅度均小于有水运输处理组中的大菱鲆。此外, 低温无水运输组大菱鲆肌肉中呈味核苷酸 IMP 和 AMP 含量显著高于有水运输组, 表明低温无水运输增加了大菱鲆呈鲜味物质的含量, 提高了鱼肉风味。研究表明, 低温无水保活技术在活鱼运输中具有广泛的应用前景。

**关键词:** 大菱鲆; 运输压力; 生理应激; 肌肉品质

**中图分类号:** TS 254.4

**文献标志码:** A

在水产品市场上, 消费者更喜欢购买新鲜的活鱼, 因此活鱼具有较高的经济价值, 其运输产业深受重视。但是, 运输易造成鱼类产生应激反应<sup>[1]</sup>, 导致免疫系统功能下降, 甚至发生疾病或死亡<sup>[2]</sup>。此外, 运输的持续时间、运输密度, 以及水质参数的变化等因素也会对鱼类造成胁迫<sup>[3]</sup>。

传统的活鱼运输方法需要大量的水, 这大大增加了货物的重量并降低了有效运输能力。

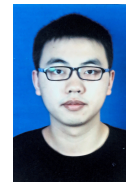
据报道, 如果鱼与水的质量比为 1:3, 则约 75% 的鱼类运输成本是由运输水造成的<sup>[4]</sup>。因此, 迫切需要探索新的运输技术, 以降低成本, 提高鱼类的生存率以延长运输时间, 从而提高鱼类活体运输效率。活鱼的无水运输被认为是实现高效运输和绿色经济的解决方案<sup>[5-6]</sup>。与传统的鱼类运输相比, 无水运输不需要运输大量的水, 因此具有更高的效益<sup>[7]</sup>。除了降低运输成本外, 无水运输还提高了某些鱼类的生存能力, 根据

收稿日期: 2021-05-10 修回日期: 2021-05-26

资助项目: 2019 年上海市科技兴农重点攻关项目 (2019-02-08-00-10-F01143); 农业农村部海水鱼产业体系, 加工研究室保鲜与贮运岗位专项 (CARS-47-G26); 上海市科委工程技术研究中心能力提升项目 (19DZ2284000)

第一作者: 曹杰 (照片), 从事水产品保活研究, E-mail: 13270226152@163.com

通信作者: 谢晶, E-mail: jxie@shou.edu.cn



冷水鱼的生态冰温特征,无水运输不仅可以减少呼吸代谢,而且可以减少因应激反应而造成的身体伤害<sup>[8]</sup>。现有研究表明,无水运输方法已被应用于某些冷水鱼类的活体运输中,例如虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)<sup>[9]</sup>。

大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)体内含有较高含量的神经胶质蛋白,被认为对人类肾脏和脑组织的健康有益<sup>[10]</sup>。此外,大菱鲆也是中国最重要的经济鱼类之一,2019年的产量超过11.6万t,比2018年增长7.54%<sup>[11]</sup>。但是,大菱鲆的市场规模和市场价值都受到其物流和销售模式的限制。因为大多数大菱鲆在国内市场上都是作为新鲜冷藏产品而不是活鱼出售。本研究比较了大菱鲆有水和无水保活运输工艺,对低温保活运输中大菱鲆血液生理生化指标和肌肉品质进行了检测分析,以期为大菱鲆保活运输提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

大菱鲆(体质量约500~600g)购自上海市浦东新区芦潮港海鲜市场,使用装有8℃保温罐的运输车将其运送到实验室。将鱼在准备好的水箱中暂养2d,以使其适应实验环境,该环境的平均水温为13℃,盐度为25,pH为7.5,平均溶解氧含量为6.0mg/L。

### 1.2 实验设备

LX-100VTR模拟运输振动台,上海鲁轩仪器设备厂;Multiskan FC型酶标仪,赛默飞世尔(上海)仪器有限公司;N4S型紫外可见分光光度计,上海仪电科学仪器股份有限公司;LP-20水族箱三合一暴露气机,深圳市兴日生实业有限公司;F2640型多点温度采集仪,美国Fluke公司;JPSJ-605F溶解氧测定仪,上海仪电科学仪器股份有限公司;GL-200氨氮检测仪,山东格林凯瑞精密仪器有限公司;5810R高速冷冻离心机,上海艾测电子科技有限公司;CK-201海鲜鱼缸制冷机,广州诚科电子科技有限公司。

### 1.3 实验方法

**大菱鲆有水保活运输** 在大菱鲆停食暂养2d后,利用冷水机将水温以2℃/h的速率从13℃降至8℃,取40条健康的大菱鲆转入盛有

8℃水的塑料袋中,鱼水质量比为1:3,袋子的剩余空间充满纯氧,然后将袋子转移至振动台上的保温箱内,设定运输振动台的转速为100r/min,模拟车速25~40km/h,进行模拟运输,在模拟运输过程中的第0、6、12和18小时,每次随机抽取3尾活鱼样品进行指标检测。

**大菱鲆无水保活运输** 将40条大菱鲆停食暂养2d后,利用冷水机将水温以2℃/h的速率从13℃降至8℃,随后结合冰袋辅助以1℃/h的速率将水温从8℃降至2℃。轻轻收集休眠的大菱鲆并将其放于塑料袋中的湿海绵上,每个塑料袋中装入1条,将塑料袋内空气排出,并向其中充入氧气,收紧袋子后,将其叠放在振动台上的保温箱(每层可放置8条,中间用夹板隔开,共5层)中以进行模拟运输,在模拟运输过程中的第0、6、12和18小时,每次随机抽取3尾活鱼样品进行分析。

### 1.4 样品采集与分析

使用2mL一次性注射器从尾静脉中抽血,全血不加抗凝剂,转移到2.0mL离心管中,在4℃的冰箱中放置2h。然后以3000r/min离心10min。将血清收集在1.5mL离心管中,并保存于-80℃直至分析。为了更好地了解活鱼运输过程中的肌肉品质变化,结合Lefevre等<sup>[12]</sup>的方法,对大菱鲆的背部肌肉(每组3个)进行取样,分为两部分,一部分样品直接取出,用于测试pH;另一部分放在冰上,迅速取出并储存在-20℃冰箱中,以测试其他肌肉指标。

### 1.5 肌肉指标的测定

肌肉水分含量按国家标准方法(GB 5009.3—2016)测定<sup>[13]</sup>;粗蛋白通过凯氏定氮法(GB 5009.5—2016)测定<sup>[14]</sup>;粗脂肪通过索氏提取法(GB 5009.6—2016)测定<sup>[15]</sup>。

将大菱鲆宰杀,插入pH探头以测量肌肉的pH值。在鱼片的上部、背部肌肉的后部和腹部等部位测量肌肉的pH值(测量3次,取平均值)。

用乳酸和糖原试剂盒(南京建成生物研究所)测定大菱鲆肌肉中的乳酸和糖原,并使用紫外可见分光光度计进行读数。

### 1.6 血液生化指标的测定

根据皮质醇ELISA试剂盒制造商的说明书(中国上海泛科实业有限公司),通过酶联免疫测

定法测定血清皮质醇。葡萄糖 (GLU) 和血液尿素氮 (BUN) 含量使用生化试剂盒 (南京建成生物工程研究所) 进行测定。

### 1.7 ATP 相关化合物的测定

根据 Fang 等<sup>[16]</sup> 的方法检测 ATP 相关化合物。使用高效液相色谱仪 (VP-CDS C<sub>18</sub> 色谱柱) 分析 ATP 相关的化合物, 包括三磷酸腺苷 (ATP), 黄嘌呤核苷酸 (IMP), 肌苷 (HxR) 和次黄嘌呤 (Hx)。使用物质的量浓度为 0.05 mol/L 的磷酸盐缓冲溶液 (pH 6.5) 作为流动相。流速为 1 mL/min, 进样量 10  $\mu$ L, 在 254 nm 处检出峰。

### 1.8 数据分析

分别用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 26.0 软

件对实验结果进行统计分析。在单因素方差分析的基础上, 采用 Duncan 氏多重比较法进行分析, 统计值为平均值 $\pm$ 标准差, 显著性水平为  $P<0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 肌肉营养成分的变化

在经过 18 h 的模拟运输后, 有水和无水运输组大菱鲆肌肉中水分和脂肪含量显著下降 ( $P<0.05$ ) (表 1)。在运输的不同时间段, 有水保活运输组的大菱鲆体内水分含量显著高于无水运输组 ( $P<0.05$ )。而在运输过程中, 有水运输组的大菱鲆体内粗蛋白含量上升, 无水运输组的显著降低 ( $P<0.05$ )。

表 1 运输压力对大菱鲆肌肉营养成分的影响

时间/h time	水分含量 water content		粗脂肪(干基) crude lipid (dry basis)		粗蛋白(干基) crude protein (dry basis)	
	有水组 water	无水组 waterless	有水组 water	无水组 waterless	有水组 water	无水组 waterless
	0	78.29 $\pm$ 0.17 <sup>Aa</sup>	78.11 $\pm$ 0.10 <sup>Aa</sup>	6.63 $\pm$ 0.22 <sup>Aa</sup>	5.66 $\pm$ 0.14 <sup>Ba</sup>	85.35 $\pm$ 0.26 <sup>Aa</sup>
6	78.14 $\pm$ 0.08 <sup>Aa</sup>	77.87 $\pm$ 0.11 <sup>Bb</sup>	5.76 $\pm$ 0.14 <sup>Ab</sup>	5.29 $\pm$ 0.23 <sup>Bab</sup>	85.86 $\pm$ 0.16 <sup>Ab</sup>	80.66 $\pm$ 0.05 <sup>Bb</sup>
12	78.02 $\pm$ 0.10 <sup>Ab</sup>	77.63 $\pm$ 0.06 <sup>Bc</sup>	4.87 $\pm$ 0.33 <sup>Ac</sup>	4.92 $\pm$ 0.34 <sup>Abc</sup>	85.99 $\pm$ 0.24 <sup>Abc</sup>	77.92 $\pm$ 0.06 <sup>Bc</sup>
18	77.85 $\pm$ 0.08 <sup>Ab</sup>	77.51 $\pm$ 0.08 <sup>Bc</sup>	4.11 $\pm$ 0.17 <sup>Ad</sup>	4.62 $\pm$ 0.25 <sup>Bc</sup>	86.64 $\pm$ 0.30 <sup>Ac</sup>	75.68 $\pm$ 0.42 <sup>Bd</sup>

注: 不同小写字母表示同列平均值之间有显著性差异, 不同大写字母表示同行平均值之间有显著性差异 ( $P<0.05$ )

Notes: different lowercase letters indicate significant differences between means in the same column, and different capital letters indicate significant differences between means in the same row ( $P<0.05$ )

### 2.2 乳酸、糖原和 pH 的变化

在运输过程中, 大菱鲆肌肉中糖原和乳酸含量变化呈负相关。运输 18 h 后, 有水运输组大菱鲆体内乳酸含量增加 141%, 糖原含量降低 28%; 无水运输组的乳酸含量增加 21%, 糖原含量降低 17%。无水运输组大菱鲆体内乳酸和糖原的变化趋势低于有水运输组。运输结束后, 有水运输组大菱鲆肌肉在 pH 从 6.85 降至 6.35, 无水运输组的 pH 值从 6.82 降至 6.42 (图 1)。

### 2.3 GLU 和 ATP 的变化

大菱鲆肌肉中的 ATP 含量通过测量其信号的峰面积并使用回归方程中的值来确定。与有水运输组相比, 无水保活运输组大菱鲆肌肉组织中的 ATP 含量在运输结束时显著降低 (图 2)。GLU 是大多数生物体中普遍存在的能量物质,

并被广泛用作关键的能源。在本研究中, 有水和无水保活处理组的大菱鲆血液中的 GLU 含量随着运输时间的推移而增加, 其中有水处理组的 GLU 含量增加更明显, 且在每个采样时间点, 有水运输组中大菱鲆的血糖含量高于无水运输组。

### 2.4 BUN 和皮质醇含量的变化

在运输过程中, 与有水处理组的大菱鲆相比, 无水处理组的大菱鲆体内 BUN 含量的变化缓慢。相比之下, 有水处理组的大菱鲆 BUN 含量显著增加, 分别在第 6 和第 12 小时增加到 3.42 和 3.97 mmol/L (图 3)。

在本研究中, 有水处理组大菱鲆体内的皮质醇含量在运输开始前与无水组相似, 在运输 18 h 后高于无水处理组, 差异不显著。运输结束后, 有水处理组的皮质醇含量升高了 106%, 无水处理组的大菱鲆皮质醇含量升高了 97% (图 3)。

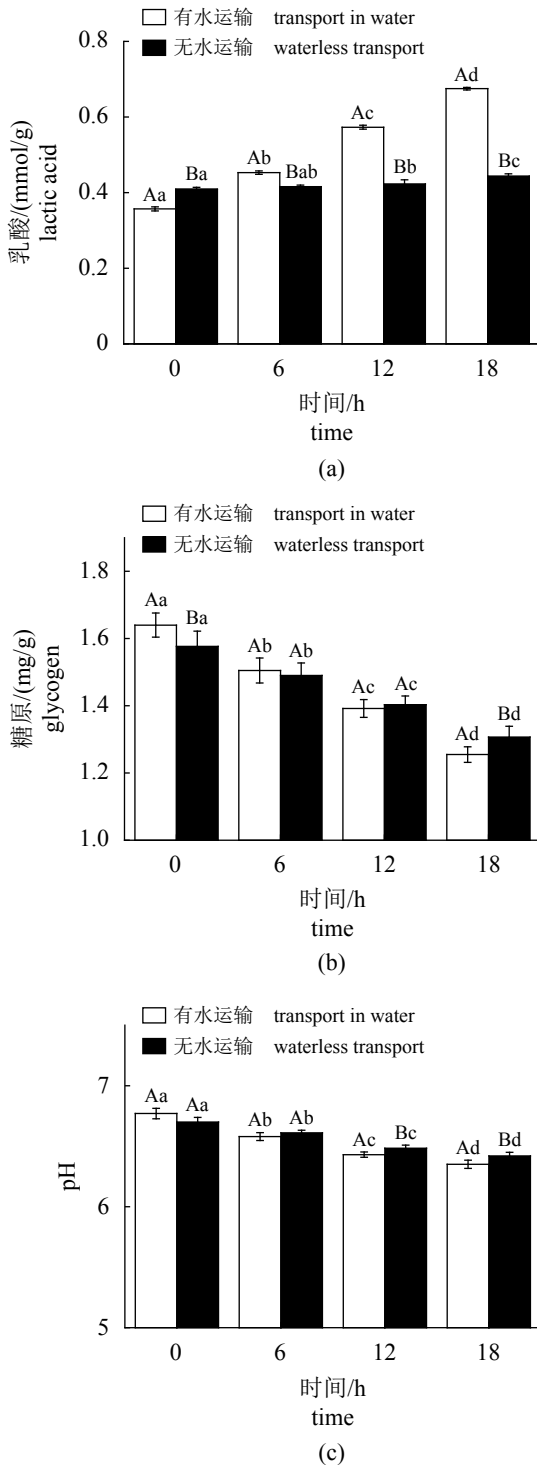


图 1 运输过程中大菱鲆体内肌肉乳酸、糖原和 pH 的变化

不同的大写字母表示两组之间的平均值有显著性差异, 不同的小写字母表示每组平均值有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 下同

Fig. 1 Changes in lactic acid, glycogen and pH of *S. maximus* muscle during transportation

Different uppercase letters indicate significant differences in the means between the two groups, different lowercase letters indicate significant differences in the means of each group ( $P < 0.05$ ), the same below

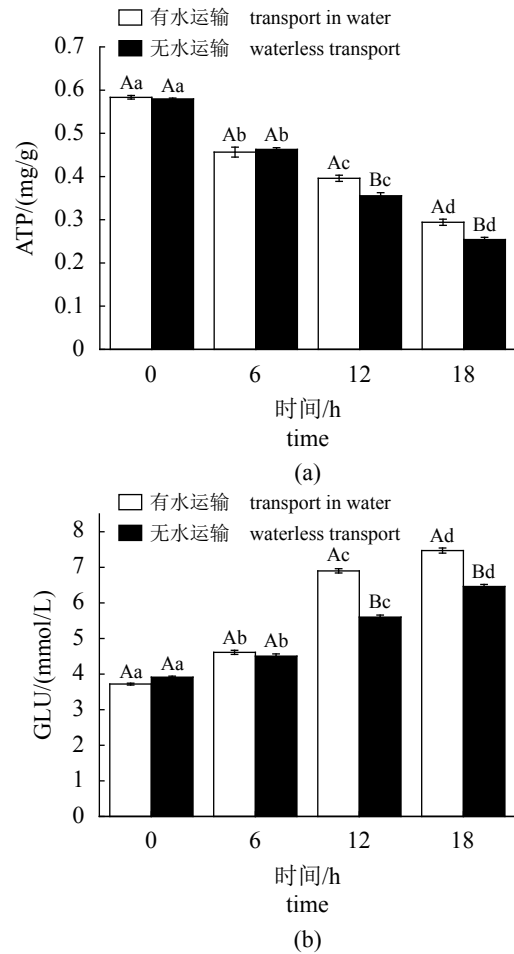


图 2 运输过程中大菱鲆肌肉 ATP 和 GLU 含量的变化

Fig. 2 Changes of *S. maximus* ATP and blood glucose during transportation

表明有水与无水处理组的皮质醇含量在模拟运输中均快速增加。

### 2.5 ATP 及其关联化合物的变化

在运输过程中, 大菱鲆体内的 IMP 含量逐渐升高, AMP 含量呈下降趋势(表 2)。运输 18 h 后, 有水处理组大菱鲆 IMP 含量增加 29.10%, 味觉活度值 (TAV) 升高至 14.18; 无水处理组的 IMP 含量增加 28.47%, TAV 值升高至 14.79。有水处理组中的 AMP 含量降低 38.65%, 无水处理组的 AMP 值呈先上升后下降的趋势。运输 18 h 后, 无水处理组的 AMP 含量降低了 12.83%。

### 3 讨论

装载和运输过程会造成鱼体产生应激反应<sup>[17]</sup>, 体现在实验中观察到的大菱鲆肌肉化学成分

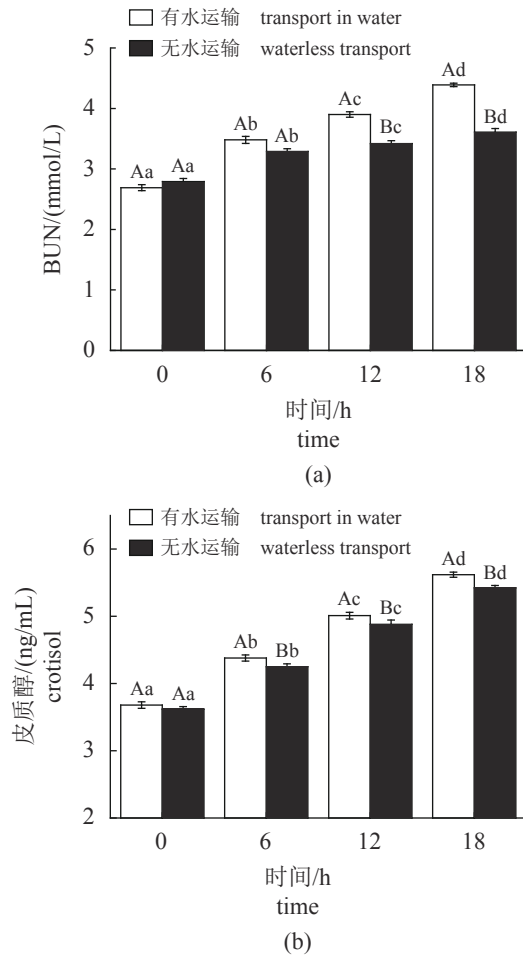


图3 运输过程中大菱鲆BUN和皮质醇含量的变化  
Fig. 3 Changes in urea nitrogen (BUN) and cortisol levels of *S. maximus* during transportation

变化。运输 18 h 后测得肌肉含水量下降, 可能是运输过程中大菱鲆代谢紊乱和酶功能障碍的结果。这一发现也与 Jørpeland 等<sup>[18]</sup>的研究结果一致, 他们发现与未受到运输压力的鱼相比, 受胁迫的大西洋鳕 (*Gadus morhua*) 肌肉中含水量明显降低。与 0 h 时的大菱鲆相比, 鱼在运输 18 h 后, 肌肉中的脂肪含量下降。这是因为鱼类在运输压力下需要消耗更多的能量, 可能会导致鱼体新陈代谢的加快, 而脂肪是鱼类重要的能量来源, 在应激条件下, 其消耗过程可能会加速<sup>[19]</sup>。粗蛋白的变化与脂肪的变化有关, El-Ebiary 等<sup>[20]</sup>观察到尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 体内肌肉化学成分中粗蛋白和粗脂肪之间存在负相关关系。在无水运输组中, 由于每一条鱼都处于低温无水条件下, 为了给生物体提供营养并保持存活, 鱼肉中的一些营养物质会被降解, 从而导致肌肉中蛋白含量减少<sup>[9, 21]</sup>。

在活鱼运输过程中, 鱼体内无氧代谢增加, 导致鱼体肌肉中乳酸含量增加, 糖原含量减少。根据 Moraes 等<sup>[22]</sup>的研究, 水中含氧量减少是鱼类常见的应激源, 导致肌肉乳酸大量输出到血浆中, 鱼体内的代谢平衡受到破坏。而在不同运输时间段中观察到肌肉糖原含量不断下降, 是由于运输过程中的能量需求所致。一旦处在应激条件下, 肌肉糖原储备就被动员起来提供能量<sup>[23]</sup>。无水运输组内的鱼在低温充氧环境中,

表2 运输过程中大菱鲆体内呈味核苷酸的变化

Tab. 2 Changes of flavor nucleotides of turbot during transportation

运输时间/h transportation time	样本 samples	IMP/(mg/100 g)	IMP/TAV	AMP/(mg/100 g)	AMP/TAV
0	有水运输	284.56±8.11 <sup>A</sup>	10.98	18.75±1.09 <sup>A</sup>	0.38
	无水运输	267.81±7.29 <sup>B</sup>	11.51	19.41±1.14 <sup>A</sup>	0.39
6	有水运输	330.47±5.16 <sup>A</sup>	13.22	16.09±1.41 <sup>A</sup>	0.32
	无水运输	343.39±7.86 <sup>A</sup>	13.74	16.65±0.80 <sup>A</sup>	0.33
12	有水运输	345.91±3.31 <sup>A</sup>	13.84	12.96±0.97 <sup>A</sup>	0.26
	无水运输	356.18±6.04 <sup>B</sup>	14.25	13.81±0.47 <sup>A</sup>	0.28
18	有水运输	354.47±2.28 <sup>A</sup>	14.18	11.52±1.21 <sup>A</sup>	0.23
	无水运输	369.76±7.22 <sup>B</sup>	14.79	16.92±1.39 <sup>B</sup>	0.34

注: 同列平均值间上标字母不同表示有显著性差异( $P<0.05$ )

Notes: different superscript letters between means in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ )

处于休眠状态,因而体内生理代谢减少,对糖原的消耗小于有水运输组。肌肉 pH 值是一个重要的肉质参数,运输过程中乳酸在肌肉中积累,导致肌肉 pH 值下降<sup>[24]</sup>,这与本研究的结果一致。肌肉 pH 值的下降将降低肉的质量,如保水能力的损失,并改变肉的质地<sup>[21]</sup>。

ATP 提供维持正常生命活动所必需的能量。ATP 及其代谢物水平的变化可以表明鱼类肌肉能量的变化<sup>[25]</sup>。当环境温度下降时,生物体发生的适应性变化主要是血糖水平的增加。在低温应激条件下或长时间暴露在低温下时,鱼体会将大量葡萄糖转化为 ATP 来提供能量<sup>[26]</sup>。在本研究中,血糖含量随着运输时间的推移而增加,这表明随着水中溶解氧含量的降低和无水条件下可呼吸氧气的减少,大菱鲆需要消耗更多的葡萄糖来维持正常的代谢。

血清皮质醇是鱼类应激水平的最重要指标之一。鱼血清皮质醇含量在低温和应激条件下显著增加<sup>[27]</sup>。此外,在肝脏中形成并通过肾脏排出的血液尿素氮是肾功能的重要指标<sup>[28]</sup>。在应激条件下,皮质醇和尿素氮含量的增加有利于调节硬骨鱼的渗透压和维持生命特征<sup>[29]</sup>。王利娟等<sup>[30]</sup>和 Barton 等<sup>[31]</sup>的研究表明,运输会给活鱼造成压力,血清皮质醇含量增加。外部环境条件的变化将激活鱼类的下丘脑-垂体-肾间组织系统,导致产生大量的皮质醇激素,以调节细胞的离子渗透性并维持生理平衡<sup>[32]</sup>。研究表明,无水保活运输大菱鲆可以减少皮质醇含量的增加,并有助于鱼类的生存。

ATP 及其相关的化合物具有味觉特征,是鱼类呈味的主要来源。IMP 和 AMP 是大菱鲆在模拟运输过程中的两种主要呈味核苷酸。研究表明,大菱鲆肌肉中 IMP 的 TAV 值大于 10,表明 IMP 是大菱鲆肌肉滋味的主要来源。运输 0 h 时,无水处理组大菱鲆 IMP 含量显著低于有水处理组,这是降温操作对呈味物质产生的暂时影响,随着运输时间延长,大菱鲆肌肉中 ATP 分解,导致 IMP 积聚并显著增加,张玉晗等<sup>[33]</sup>的研究结果与本实验相同,他们发现花鲈 (*Lateolabrax japonicus*) 在无水保活运输 8 h 后,肌肉中的 IMP 含量显著增加。随着运输时间的延长,大菱鲆有水处理组肌肉中 AMP 持续降解,而无水处理组肌肉中的 AMP 含量先降低后升高,18 h

后,AMP 仍处于较高水平,表明低温无水运输操作可以增加大菱鲆体内呈鲜味物质的含量,提高鱼肉风味。

## 4 结论

研究表明,运输会引起鱼体血液生理生化参数和肉质品质的显著变化。特别是在长期运输后,鱼体肌肉中乳酸含量上升,糖原和 pH 值下降,能量代谢中 ATP、葡萄糖、尿素氮和皮质醇含量上升。这些化学变化将影响鱼体的生理代谢。无水保活处理组内大菱鲆相关指标的变化幅度均小于有水保活处理组,表明无水运输可以减少运输过程对鱼体的压力,此外,无水运输能增加大菱鲆呈鲜味物质的含量,提高鱼肉风味。

## 参考文献 (References):

- [1] Manuel R, Boerrigter J, Roques J, *et al.* Stress in African catfish (*Clarias gariepinus*) following overland transportation[J]. *Fish Physiology & Biochemistry*, 2014, 40(1): 33-44.
- [2] 王文豪,董宏标,孙永旭,等. MS-222和丁香酚在大口黑鲈幼鱼模拟运输中的麻醉效果[J]. *南方水产科学*, 2018, 14(6): 52-58.  
Wang W H, Dong H B, Sun Y X, *et al.* Anesthetic effects of MS-222 and eugenol in simulated transportation of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(6): 52-58(in Chinese).
- [3] Zahl I H, Samuelsen O, Kiessling A. Anaesthesia of farmed fish: implications for welfare[J]. *Fish Physiology & Biochemistry*, 2012, 38(1): 201-218.
- [4] Tang S, Thorarensen H, Brauner C J, *et al.* Modeling the accumulation of CO<sub>2</sub> during high density, re-circulating 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.
- [5] Refaey M M, Li D P, Tian X, *et al.* High stocking density alters growth performance, blood biochemistry, intestinal histology, and muscle quality of channel catfish *Ictalurus punctatus*[J]. *Aquaculture*, 2018, 492: 73-81.
- [6] Zhang Y J, Zhang X S, Nga M T T, *et al.* Development

- and evaluation of key ambient factors online monitoring system in live *Urechis unicinctus* transportation strategies[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2018, 145: 43-52.
- [7] I Martín I, Gutierrez J R, Martos-Sitcha J A, *et al.* Prolonged emersion of *Solea senegalensis*, Kaup 1858, for its application in transport[J]. *Aquaculture Research*, 2017, 48(7): 3393-3400.
- [8] Wang W S, Zhang Y J, Liu Y, *et al.* Effects of waterless live transportation on survivability, physiological responses and flesh quality in Chinese farmed sturgeon (*Acipenser schrenckii*)[J]. *Aquaculture*, 2020, 518: 734834.
- [9] Refaey M M, Tian X, Tang R, *et al.* Changes in physiological responses, muscular composition and flesh quality of channel catfish *Ictalurus punctatus* suffering from transport stress[J]. *Aquaculture*, 2017, 478: 9-15.
- [10] Nie X B, Zhang F, Wang T T, *et al.* Physiological and morphological changes in turbot (*Psetta maxima*) gill tissue during waterless storage[J]. *Aquaculture*, 2019, 508: 30-35.
- [11] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴-2020[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
- Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Areas, National Aquatic Technology Promotion Station, China Society of Fisheries. China Fishery Statistical Yearbook-2020[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020 (in Chinese).
- [12] Lefevre F, Cos I, Pottinger T G, *et al.* selection for stress responsiveness and slaughter stress affect flesh quality in pan-size rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*[J]. *Aquaculture*, 2016, 464: 654-664.
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of China, China Food and Drug Administration. National Food Safety Standard GB 5009.3-2016 Determination of moisture in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [14] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of China, China Food and Drug Administration. National Food Safety Standard GB 5009.5-2016 Determination of protein in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [15] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of China, China Food and Drug Administration. National Food Safety Standard GB 5009.6-2016 Determination of fat in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [16] Fang S Y, Zhou Q Q, Hu Y, *et al.* Antimicrobial carvacrol incorporated in flaxseed gum-sodium alginate active films to improve the quality attributes of Chinese sea bass (*Lateolabrax maculatus*) during cold storage[J]. *Molecules*, 2019, 24(18): 3292.
- [17] den Hertog-Meischke M J A, Vada-Kovács M, Smulders F J M. The effect of simulated transport of fresh meats on their water-holding capacity as assessed by various methods[J]. *Meat Science*, 1997, 46(1): 1-8.
- [18] Jørpeland G, Imsland A, Stien L H, *et al.* Effects of filleting method, stress, storage and season on the quality of farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.)[J]. *Aquaculture Research*, 2015, 46(7): 1597-1607.
- [19] Dhanasiri A K S, Fernandes J M O, Kiron V. Acclimation of zebrafish to transport stress[J]. *Zebrafish*, 2013, 10(1): 87-98.
- [20] El-Ebiary E, Zaki M A. Effect of supplementing active yeast to the diets on growth performance, nutrient utilization, whole body composition and blood constituents of mono-sex tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 2003, 7(1): 127-139.
- [21] Kristoffersen S, Tobiassen T, Steinsund V, *et al.* Slaughter stress, postmortem muscle pH and rigor development in farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.)[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2006, 41(7): 861-864.
- [22] Moraes G, Avilez I M, Altran A E, *et al.* Biochemical and hematological responses of the banded knife fish

- Gymnotus carapo* (Linnaeus, 1758) exposed to environmental hypoxia[J]. *Brazilian Journal of Biology*, 2002, 62(4A): 633-640.
- [23] Bonga S E W. The stress response in fish[J]. *Physiological Reviews*, 1997, 77(3): 591-625.
- [24] 丁亚涛,汪之和,王林林,等. MS-222对鳊鱼麻醉保活运输效果的研究[J]. *水产科学*, 2019, 38(3): 296-304.  
Ding Y T, Wang Z H, Wang L L, *et al.* Effect of MS-222 on survival of bream fish during anaesthesia transportation[J]. *Fisheries Science*, 2019, 38(3): 296-304(in Chinese).
- [25] Speers-Roesch B, Sandblom E, Lau G Y, *et al.* Effects of environmental hypoxia on cardiac energy metabolism and performance in tilapia[J]. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 2010, 298(1): R104-R119.
- [26] Axelrod J, Reisine T D. Stress hormones: their interaction and regulation[J]. *Science*, 1984, 224(4648): 452-459.
- [27] Jun Q, Hong Y, Hui W, *et al.* Physiological responses and HSP70 mRNA expression in GIFT tilapia juveniles, *Oreochromis niloticus* under short-term crowding[J]. *Aquaculture Research*, 2015, 46(2): 335-345.
- [28] Nelson K, Jones J, Jacobson S, *et al.* Elevated blood urea nitrogen (BUN) levels in goldfish as an indicator of gill dysfunction[J]. *Journal of Aquatic Animal Health*, 1999, 11(1): 52-60.
- [29] McCormick D S. Endocrine control of osmoregulation in teleost fish[J]. *American Zoologist*, 2001, 41: 781-794.
- [30] 王利娟,程守坤,张饮江,等. MS-222在加州鲈鱼模拟运输中的麻醉效果[J]. *上海海洋大学学报*, 2015, 24(2): 235-241.  
Wang L J, Cheng S K, Zhang Y J, *et al.* Anesthetic effects of MS-222 in simulated transportation of large-mouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2015, 24(2): 235-241(in Chinese).
- [31] 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.
- [32] Gomes L C, Roubach R, Araujo-Lima C A R M, *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.
- [33] 张玉晗. 花鲈生态冰温无水活运技术的研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.  
Zhang Y H. Study on the technique of ecological ice temperature and waterless transportation of *Lateolabrax maculatus*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019 (in Chinese).



## Effects of transport in water and waterless transport on physiological stress and flesh quality of turbot (*Scophthalmus maximus*)

CAO Jie<sup>1</sup>, WANG Qi<sup>1</sup>, MEI Jun<sup>1,2,3</sup>, XIE Jing<sup>1,2,3,4\*</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering,

Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Shanghai Aquatic Products Processing and Storage Engineering Technology Research Center,

Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Collaborative Innovation Center of Seafood Deep Processing, Ministry of Education, Dalian 116034, China)

**Abstract:** In order to investigate the changes of physiological and biochemical indexes and flesh quality of turbot (*Scophthalmus maximus*) during transportation in water and without water to provide reference for the preservation and transportation of *S. maximus*, in this study, turbot were placed under water and waterless conditions for simulated transportation experiments to compare the changes of physiological and biochemical indexes and muscle quality of *S. maximus* in different transportation environments and to provide reference for the preservation of *S. maximus* in transportation. In the experiment, the purchased *S. maximus* was temporarily reared, cooled, oxygenated and packed for transport, and samples were taken from *S. maximus* at different times of transport to test the physiological and biochemical indexes and muscle indexes of *S. maximus*. The results showed that after 18 hours of simulated transportation, the survival rate of *S. maximus* in the water transport group and the waterless transport group remained 100%. The water content, crude fat, pH, glycogen, adenosine triphosphate (ATP) and adenosine monophosphate (AMP) contents in *S. maximus* muscle decreased significantly, lactate and inosine monophosphate (IMP) contents increased. Among them, the AMP content of *S. maximus* in the group transported in water decreased by 38.65% and the IMP content increased by 29.1%, while the AMP content of turbot in the group transported without water decreased by 12.83% and the IMP content increased by 28.47%; among the blood biochemical indexes of *S. maximus*, blood glucose (GLU), blood urea nitrogen (BUN) and cortisol levels increased significantly. After transportation, the changes of physiological stress and energy metabolism indexes of turbot in the waterless transportation group were smaller than those in the water transportation treatment group. In addition, the content of flavorful nucleotides IMP and AMP in the muscle of turbot in the low-temperature anhydrous transportation group was significantly higher than that of *S. maximus* in the water transportation group, indicating that the low-temperature anhydrous transportation increased the flavorful substances of turbot and improved the flavor of fish flesh. The results of the study indicate that the application of low-temperature waterless keep-alive technology for live fish transportation has broad prospects.

**Key words:** *Scophthalmus maximus*; transport stress; physiological stress; flesh quality

**Corresponding author:** XIE Jing. E-mail: jxie@shou.edu.cn

**Funding projects:** 2019 Shanghai Science and Technology Key Tackling Project for Promoting Agriculture (2019-02-08-00-10-F01143); Ministry of Agriculture and Rural Affairs Seawater Fish Industry System, Processing Research Laboratory Preservation and Storage Position (CARS-47-G26); Shanghai Science and Technology Commission Engineering Technology Research Center Capacity Enhancement Project (19DZ2284000)