

温度、盐度和两种麻醉剂对大泷六线鱼幼鱼耗氧率、排氨率的影响

胡发文, 王晓龙, 高凤祥, 李 莉, 菅玉霞, 王 雪, 樊 英, 潘 雷, 郭 文

(山东省海洋生物研究院 山东省海水养殖病害防治重点实验室, 山东 青岛 266104)

摘要: 采用静水呼吸室法, 研究了温度、盐度和两种麻醉剂(丁香油、MS-222)对体质量为(6.44±0.59) g的大泷六线鱼幼鱼耗氧率和排氨率的影响。实验分别设置了5个温度梯度(8℃、12℃、16℃、20℃、24℃), 5个盐度梯度(15‰、20‰、25‰、30‰、35‰), 6个丁香油浓度梯度(0、8、16、24、32、40 mg/L)和5个MS-222浓度梯度(0、10、20、30、40 mg/L)。结果显示, 温度、盐度和两种麻醉剂均对耗氧率和排氨率有显著性影响。8℃时, 耗氧率和排氨率最低, 随温度升高先升高后降低, 且均在20℃时达到峰值; 盐度30‰时, 耗氧率和排氨率最低, 盐度升高或降低都会导致耗氧率和排氨率升高; 丁香油和MS-222均能有效降低大泷六线鱼的耗氧率和排氨率, 其中丁香油的降低效果更为明显; 丁香油浓度为24 mg/L时或MS-222为20 mg/L时可使大泷六线鱼处于深度镇定期, 结合耗氧率及排氨率变化, 认为上述浓度是大泷六线鱼幼鱼保活运输的最佳浓度; 本研究所有处理组的O:N比值范围均在14.77~24.11之间, 表明适宜温度和盐度条件下, 大泷六线鱼幼鱼主要由蛋白质和脂肪提供能量。研究认为, 适度降温、自然盐度和适宜浓度的麻醉剂处理均可显著降低大泷六线鱼幼鱼的呼吸代谢强度, 其中丁香油相比MS-222作用效果更加明显。本研究结果为实现大泷六线鱼高质量运输提供了科学参考。

关键词: 大泷六线鱼; 耗氧率; 排氨率; 丁香油; MS-222

中图分类号: S981.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2021)01-0054-08

DOI: 10.11759/hyxx20200522001

大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)又名欧氏六线鱼、六线鱼, 隶属于鲉形目(Scorpaeniformes)、六线鱼科(Hexagrammidate)、六线鱼属(*Hexagrammos*), 为冷温性近海底层岩礁鱼类, 在中国主要分布于山东、辽宁和江苏等地的近海多岩礁海区^[1]。大泷六线鱼肉质细嫩、营养丰富, 素有“北方石斑”的美称, 深受广大消费者喜爱, 是中国北方网箱养殖、增殖放流和资源修复的理想种类, 具有广阔的推广前景。

鱼类在运输过程中极易受到外界的环境胁迫, 如果运输方式不合理或操作不当, 很可能会影响鱼类健康, 甚至引起鱼类死亡。在活鱼运输中经常采用降温、麻醉处理等方法, 以降低鱼类呼吸代谢强度, 提高运输成活率^[2]。可用于水产动物的化学麻醉剂种类较多, 其中以丁香油(主要成分为丁香酚)和MS-222(间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐, C₁₀H₁₅NO₅S)在养殖生产中应用最为广泛^[3]。耗氧率和排氨率是评价水生动物生理状况的重要指标, 能够反映生物个体在所处环境下的呼吸和代谢水平^[4]。

通过研究各种因素对耗氧率和排氨率的影响及变化规律, 可以了解鱼体的代谢水平和活动规律等, 为鱼类人工繁育、养殖生产、活鱼运输、增殖放流等提供科学依据。目前, 虽然已有一些关于环境因子(温度、盐度等)和麻醉剂对部分鱼类耗氧率和排氨率影响的研究^[5-8], 但在六线鱼属中尚未见相关报道。本研究探讨了不同温度、盐度和麻醉剂对大泷六线鱼耗氧率和排氨率的影响情况, 以期为大泷六线鱼的安全养殖生产、保活运输和增殖放流等提供科学参考。

收稿日期: 2020-05-22; 修回日期: 2020-06-15

基金项目: 山东省农业重大应用技术创新项目(SD2019YY007); 山东省重点研发计划项目(2019GHY112062, 2019GHY112071)

[Foundation: Major Agricultural Application Technology Innovation Projects in Shandong Province, No. SD2019YY007; Key Project of Research and Development Plan of Shandong Province, No. 2019GHY112062, No. 2019GHY112071]

作者简介: 胡发文(1982-), 男, 山东临沂人, 副研究员, 硕士, 主要从事海水鱼类增殖研究, 电话: 0532-82679419; Email: fwu88@163.com; 郭文(1963-), 通信作者, 男, 研究员, 研究方向: 海洋生物繁育与增殖, 电话: 0532-82680687, Email: guowen1963@126.com.

1 材料与方 法

1.1 材 料

实验用大 泷六线鱼幼鱼取自山东省海洋生物研究 院鳌山卫中试基地, 全长(7.9±0.8) cm, 体质量(6.44± 0.59) g, 所有个体均体色正常、体质健壮、无伤病。实 验开始前暂养 7 d, 暂养用水为砂滤自然海水, 水温为 (15±0.5) °C, 溶氧为(7.0±0.3) mg/L, 盐度为31‰, pH 为 (8.0±0.2), 每日适量投喂海水鱼专用配合饲料。

实验用麻醉剂丁香油和 MS-222 购自武汉普洛 斯试剂有限公司。丁香油中丁香酚含量为 85%, 将其 按质量比为 1 : 5 的比例溶于酒精后再溶于水配制成 母液; MS-222 呈白色粉末状, 将其与 NaHCO₃ 按质 量比为 1 : 1 混合后溶于水配制成 MS-222 母液。实 验时按所需浓度将二者稀释并搅拌均匀。

1.2 方 法

1.2.1 实验设计与分组

采用静水呼吸室法, 实验装置为自制的密封静 止水式呼吸测定仪, 根据鱼体大小选用 2.5 L 锥形瓶 作为实验瓶, 实验时注满海水, 用保鲜膜密封口, 保 证无气泡, 恒温水浴控温, 温度误差在±0.5 °C 内。幼 鱼停食 1 d 后开始实验, 各实验组使用 4 个实验瓶, 包 含 3 个代谢瓶(作为平行)和 1 个空白瓶, 每个代谢 瓶中各随机投放 5 尾幼鱼, 空白瓶中不放鱼, 条件与 代谢瓶相同。实验在暗光条件下进行, 实验时长 1 h, 结束后颠倒摇晃 3~5 次, 以保证水体溶解氧和氨氮 均匀, 利用虹吸法将导管插入瓶底部采集水样, 立即 用 Winkler 氏碘量法和奈氏试剂法测定各代谢瓶和空 白瓶中的溶解氧和氨氮浓度。用滤纸吸干幼鱼体表水 分, 在电子天平上称量湿重(精确到 0.01 g)。

实验分组情况为: 温度实验设置 5 个梯度, 分别 为 8 °C、12 °C、16 °C、20 °C、24 °C, 各梯度水体盐 度均为 31‰; 盐度实验设置 5 个梯度, 分别为 15‰、 20‰、25‰、30‰、35‰, 各梯度水温均为(15±0.5) °C; 麻醉剂实验, 其中丁香油设置 6 个浓度梯度, 分别为 0、8、16、24、32、40 mg/L, MS-222 设置 5 个浓度 梯度, 分别为 0、10、20、30、40 mg/L, 各处理组水 温(15±0.5) °C, 盐度 31‰。

1.2.2 耗氧率和排氮率的测定

耗氧率、排氮率、氧氮比(O : N)的计算公式分 别为:

$$R_O = (C_{O1} - C_{O2}) \times V / (W \times t),$$

$$R_A = (C_{A2} - C_{A1}) \times V / (W \times t)。$$

$$O : N = R_O / R_A$$

式中: R_O 为耗氧率[mg/(g·h)]; R_A 为排氮率[μg/(g·h)]; C_{O1} 、 C_{O2} 分别为实验结束时空白瓶和代谢瓶中溶解 氧浓度(mg/L); C_{A1} 、 C_{A2} 分别为实验结束时空白瓶和 代谢瓶中氨氮浓度(μg/L); V 为实验瓶体积(L); W 为 代谢瓶中幼鱼的总体质量(g); t 为实验持续时间(h)。

1.3 数 据 处 理

实验结果均采用平均值±标准差(mean±S.D.)表 示, 用 Excel 2010 与 SPSS 22.0 软件进行数据统计分 析, 利用单因素方差分析(one-way ANOVA)结合 Duncan 多重比较, 显著性水平设为 0.05。

2 结 果

2.1 不同温度对大 泷六线鱼幼鱼耗氧率和 排氮率的影响

不同温度对大 泷六线鱼幼鱼的耗氧率、排氮率 及氧氮比的影响结果如表 1 所示。幼鱼的耗氧率随 水温的升高先升高后降低, 在 8 °C 时耗氧率最低, 与 12 °C 时差异不显著($P > 0.05$), 显著低于 16 °C、20 °C 和 24 °C 时的耗氧率($P < 0.05$)。20 °C 时耗氧率达到最 高, 但与 16 °C 和 20 °C 时差异不显著($P > 0.05$)。

表 1 不同温度对大 泷六线鱼幼鱼的耗氧率和排氮率及氧 氮比(O : N)的影响

Tab. 1 Effect of temperature on oxygen consumption rate, ammonia excretion rate, and O : N of juvenile fat greenling *H. otakii*

温度/°C	耗氧率/[mg/(g·h)]	排氮率/[μg/(g·h)]	O : N
8	0.259±0.031 ^a	9.205±0.559 ^a	24.114
12	0.290±0.040 ^{ab}	12.843±0.610 ^b	19.556
16	0.362±0.034 ^{bc}	17.757±0.738 ^c	17.930
20	0.399±0.027 ^c	21.603±0.713 ^d	16.654
24	0.364±0.027 ^{bc}	18.845±0.839 ^c	16.964

注: 同一列中, 上标字母相同者表示无显著差异($P > 0.05$), 反 之, 则有显著差异($P < 0.05$), 下同。

幼鱼排氮率随温度的升高先升高后降低, 8 °C 时 排氮率仅为(9.20±0.56) μg/(g·h), 显著低于其他温度梯 度($P < 0.05$), 20 °C 时排氮率达到(21.60±0.71) μg/(g·h), 显著高于其他温度梯度($P < 0.05$)。

水温 8~24 °C 时, 大 泷六线鱼的氧氮比为 16.65~ 24.11, 呈先上升后下降趋势。8 °C 时 O : N 比值最高, 为 24.11, 20 °C 时 O : N 比值最低, 为 16.65。

2.2 不同盐度对大泷六线鱼幼鱼耗氧率和排氨率的影响

不同盐度对大泷六线鱼幼鱼的耗氧率、排氨率及氧氮比的影响结果如表 2 所示。盐度 30‰时幼鱼的耗氧率最低, 盐度升高或者降低均导致耗氧率升高。其中, 盐度 15‰时显著低于盐度 30‰时的耗氧率($P<0.05$), 而盐度 20‰、25‰和 35‰时与盐度 30‰时的耗氧率差异不明显($P>0.05$)。

表 2 不同盐度对大泷六线鱼幼鱼的耗氧率、排氨率及氧氮比(O : N)的影响

Tab. 2 Effect of salinity on oxygen consumption rate, ammonia excretion rate, and O : N of juvenile fat greenling *H. otakii*

盐度/‰	耗氧率/[mg/(g·h)]	排氨率/[μg/(g·h)]	O : N
15	0.382±0.007 ^a	22.826±0.458 ^a	14.773
20	0.376±0.019 ^{ab}	20.525±0.586 ^b	16.025
25	0.365±0.014 ^{ab}	19.675±0.483 ^b	16.150
30	0.352±0.016 ^b	17.394±0.533 ^c	17.786
35	0.364±0.014 ^{ab}	19.799±0.762 ^b	15.980

盐度 30‰时幼鱼的排氨率显著低于其他盐度梯度($P<0.05$), 随盐度的升高和降低, 排氨率均有上升的趋势。盐度 15‰时排氨率显著高于其他盐度梯度($P<0.05$)。

盐度为 15‰~35‰时, 大泷六线鱼幼鱼 O : N 比值变化范围在 14.77~17.79, 呈先上升后下降趋势。其中, 盐度 15‰时 O : N 比值最低, 为 14.77, 盐度 30‰时 O : N 比值最高, 为 17.79。

2.3 不同浓度麻醉剂对大泷六线鱼幼鱼耗氧率和排氨率的影响

不同浓度的丁香油、MS-222 对大泷六线鱼幼鱼的耗氧率、排氨率及氧氮比的影响结果如表 3 所示。幼鱼耗氧率随丁香油浓度的升高而降低, 且高浓度丁香油处理组(浓度为 24、32、40 mg/L)显著低于低浓度丁香油处理组(浓度为 8、16 mg/L)($P<0.05$), 其中以 40 mg/L 处理组最低, 相比 0 mg/L 时下降了 46.37%。加入不同浓度的 MS-222 后, 幼鱼耗氧率呈现不同程度的下降, 其中浓度为 40 mg/L 的处理组显著低于 0 mg/L 的处理组($P<0.05$), 下降了 17.62%, 其他处理之间无显著差异($P>0.05$)。

幼鱼排氨率随丁香油浓度的升高而降低, 丁香油浓度为 40 mg/L 时排氨率最低, 相比 0 mg/L 的处理组下降了 28.66%, 且显著低于浓度为 8、16 mg/L

的处理组($P<0.05$), 但与浓度为 24、32 mg/L 的处理组差异不显著($P>0.05$)。幼鱼排氨率随 MS-222 浓度的升高而降低, 其中以 40 mg/L 处理组最低, 显著低于 0、10 mg/L 的处理组($P<0.05$), 下降了 11.73%, 但与 20、30 mg/L 浓度时差异不显著($P>0.05$)。

表 3 不同浓度的丁香油、MS-222 对大泷六线鱼幼鱼的耗氧率、排氨率及氧氮比(O : N)的影响

Tab. 3 Effect of clove oil and MS-222 on oxygen consumption rate, ammonia excretion rate, and O : N of juvenile fat greenling *H. otakii*

麻醉剂	浓度/(mg/L)	耗氧率/[mg/(g·h)]	排氨率/[μg/(g·h)]	O : N
丁香油	0	0.386±0.014 ^a	16.544±0.586 ^a	20.535
	8	0.333±0.020 ^b	14.471±0.511 ^b	20.047
	16	0.306±0.021 ^b	13.206±0.432 ^c	20.071
	24	0.234±0.027 ^c	12.750±0.451 ^{cd}	16.329
	32	0.218±0.025 ^c	12.211±0.483 ^{cd}	15.586
MS-222	40	0.207±0.025 ^c	11.796±0.388 ^d	15.668
	0	0.386±0.014 ^a	16.544±0.586 ^a	20.535
	10	0.345±0.027 ^{ab}	15.735±0.438 ^{ab}	19.183
	20	0.336±0.026 ^{ab}	14.989±0.432 ^{bc}	19.540
	30	0.340±0.023 ^{ab}	14.948±0.381 ^c	19.761
40	0.318±0.025 ^b	14.595±0.407 ^c	19.417	

经过丁香油和 MS-222 麻醉后, 幼鱼 O : N 比值均有所下降。其中丁香油浓度为 40 mg/L 时 O : N 比值最低, 麻醉前后由 20.53 下降至 15.67; MS-222 浓度为 10 mg/L 时 O : N 比值最低, 麻醉前后由 20.53 下降至 19.18。

3 讨论

3.1 温度对大泷六线鱼幼鱼耗氧率和排氨率的影响

温度是影响鱼类呼吸和排泄等代谢活动的最重要环境因子^[9]。适温条件下, 温度越高, 鱼类体内酶活力就越高, 消化、循环、运动等各系统的生理机能也更加旺盛, 呼吸代谢对氧气消耗也随之增加^[10]。本研究表明, 在 8~20 °C 范围内, 随温度上升, 大泷六线鱼的耗氧率显著增加, 说明大泷六线鱼符合适温范围内耗氧率随温度升高而增加的一般规律。宋苏祥等^[11]认为, 当温度升高至适温范围以外时, 鱼体的生理机能发生改变, 一些机能性代谢甚至因为温度超过鱼体的适应范围而停止活动。大泷六线鱼幼鱼适温范围为 14~23 °C^[12], 本研究中 24 °C 超出了其适宜范围, 耗氧

率呈现一定程度的降低,说明温度对大泷六线鱼呼吸代谢的影响符合上述规律。此结论与珍珠龙胆石斑鱼(*E. fuscoguttatus*♀×*E. lanceolatus*♂)^[7]、硬头鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[13]上的研究结果一致。

孙丽华等^[14]对军曹鱼(*Rachycentron canadum*)的研究认为,在一定温度范围内,随温度升高,鱼体内参与催化脱氨反应的酶活性增强,致使排氨率升高;而当温度超出适应范围后,相应的酶会失去部分活性,催化脱氨反应变缓,结果表现为排氨率下降。本研究结果表明大泷六线鱼幼鱼的排氨率随温度的变化规律与之相似,即在 8~20 °C 温度范围内,排氨率随温度升高呈现上升趋势,而升至 24 °C 后,又呈现一定程度的下降。然而, Savitz 等^[15]和 Jobling 等^[16]分别对蓝鳃太阳鱼(*Lepomis macrochirus*)和欧洲鳊(*P. platessa*)的研究结果显示排氨率与温度呈正相关关系,高温条件下的排氨率并未表现出下降趋势,这可能与实验对象的物种差异有关。

3.2 盐度对大泷六线鱼耗氧率和排氨率的影响

盐度也是影响海水鱼类生理水平的重要环境因子,盐度改变会引起鱼类耗氧率和排氨率产生相应变化^[17]。研究表明,大泷六线鱼幼鱼在盐度 30‰ 时,耗氧率和排氨率均处最低水平,盐度升高或降低均会导致耗氧率和排氨率的升高。大泷六线鱼呼吸和代谢随盐度变化规律可能与其生活习性有关,作为底栖岩礁性鱼类,其生存环境的盐度比较稳定,对生态环境的长期适应使其在自然海水中耗氧率和代谢率较低,而偏离正常盐度后外界环境胁迫压力增加,导致耗氧率和排氨率升高。与本研究观点类似,李加儿等^[8]、Norman 等^[18]和姚学良等^[19]对鲻(*Mugil cephalus*)、平鲷(*Rhabdosargus sarba*)和豹纹鳃棘鲈(*Plectropomus leopardus*)的研究均表明长期栖息环境下的耗氧率和排氨率较低。也有学者^[10, 20]认为,代谢率的变化受渗透压调节耗能的变化影响,根据渗透压调节原理,鱼类在等渗点时渗透压力最小,其代谢率也最小,因此对于一些广盐性海水鱼类,适当降低盐度后生长速度提高。本研究中大泷六线鱼幼鱼的耗氧率和排氨率随盐度降低未呈现下降的趋势,而且其适宜盐度为 15‰~40‰,超出适宜盐度后呈现负增长,死亡率升高^[12],这说明大泷六线鱼适盐范围较窄,不宜采用降低盐度的方法降低代谢率,提高生长速度。

3.3 麻醉剂对大泷六线鱼耗氧率和排氨率的影响

活鱼运输过程中使用麻醉剂一方面可以降低呼吸和代谢,降低溶氧消耗,减少氨氮等排泄物累积,维持良好水质,减轻环境胁迫压力^[21];另一方面又可以使鱼类保持镇定,降低活动能力,避免因环境骤变、惊吓等引起的鱼体机械损伤^[22]。本研究结果表明,添加丁香油或者 MS-222 后,大泷六线鱼幼鱼的耗氧率和排氨率均有所下降,说明两种麻醉剂均可有效降低呼吸和代谢强度;同时,经行为学观察,使用上述两种麻醉剂后,鱼的行动均变得迟缓,对外界的应激反应减弱,这必然会降低运输过程中鱼体受机械损伤的风险。

麻醉剂通过鳃丝或体表进入鱼体内后,首先抑制脑的皮质,再作用于基底神经节和小脑,最后作用于脊髓,而如果剂量过大或作用时间过长会深及髓质,麻痹呼吸和血液循环中枢^[23]。随着麻醉剂对神经系统不同部位先后产生作用,鱼类依次表现出不同的行为特征,魏锁成^[24]根据这些行为表现将麻醉程度分为 6 个时期(见表 4),其中,第 2 期(深度镇定期)被认为是活鱼运输的最佳时期。而鱼类到达的最终时期与麻醉剂浓度直接相关,本研究中通过行为观察,发现大泷六线鱼幼鱼在丁香油浓度 24 mg/L 或 MS-222 浓度 20 mg/L 时大泷六线鱼幼鱼处于深度镇定期(第 2 期)。从耗氧率和排氨率结果来看,上述两种麻醉剂的浓度时大泷六线鱼幼鱼耗氧率和排氨率均显著低于低浓度处理组,而与高浓度处理组差异不显著。综上,本研究认为在水温(15±0.5) °C,盐度 31‰ 条件下,24 mg/L、20 mg/L 分别是丁香油和 MS-222 用于大泷六线鱼幼鱼活鱼运输的最适浓度。大泷六线鱼在麻醉剂作用下对外界应激反应较小,因此本研究在静水条件下进行,未考虑实际运输过程中颠簸、震荡等因素对呼吸和代谢的影响,进一步研究可以根据实际情况,模拟真实运输环境进行相关实验。

不同麻醉剂对鱼类的麻醉效果存在差异。胡发文等^[25]研究表明,随丁香油浓度升高,大泷六线鱼呼吸频率呈下降趋势,而 MS-222 在浓度≤40 mg/L 时呼吸频率下降不明显。本研究表明,丁香油浓度由 0 升至 40 mg/L 后,其耗氧率和排氨率分别下降了 46.37%和 28.66%,相比之下,同浓度的 MS-222 则仅下降了 17.62%和 11.73%。上述发现均说明相比 MS-222,丁香油对大泷六线鱼幼鱼呼吸和代谢的降低效果更为明显,这与章龙

表 4 各麻醉分期的鱼类行为特征

Tab. 4 Behavioral characteristics of fish on each stage of anesthesia

麻醉分期	触觉	视觉	肌肉张力	平衡感	呼吸频率	备注
第 1 期(轻度镇定期)	±	±	+	+	正常	
第 2 期(深度镇定期)	—	—	±	+	略降低	用于一般活鱼运输
第 3 期(平衡失调期)	—	—	—	—	升高	
第 4 期(麻醉期)	—	—	—	—	升高或降低	最佳操作时期
第 5 期(深度麻醉期)	—	—	—	—	缓慢	应立即恢复
第 6 期(延髓麻醉期)	—	—	—	—	停止	无法恢复, 死亡

注: “+”表示正常, “—”表示丧失, “±”表示部分丧失。

珍等^[6]、王文豪等^[26]和郝长杰等^[27]分别在长鳍篮子鱼(*Siganus canaliculatus*)、大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)和暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*)上的研究结果一致。

3.4 能源物质分析

氧氮比(O : N)是评估动物代谢底物来源的重要参数, 其数值大小反映蛋白质、脂肪和碳水化合物在动物能量供应中占的比率^[28]。动物完全由蛋白质供能时 O : N 比值为 7~10, 如果由蛋白质和脂肪氧化供能, O : N 比值为 24, 如果完全以脂肪和碳水化合物供能, O : N 比值则会变为无穷大^[29]。Widdows^[30]认为, O : N 比值与环境对有机体的压力紧密相关, 可作为有机体适应环境压力的一项指标。水温 8~24 °C 时, 大泷六线鱼的 O : N 比值变化范围为 16.65~24.11, 且随温度升高而降低, 说明适宜温度时大泷六线鱼以蛋白质和脂肪供能, 随温度升高蛋白质利用比例高。盐度为 15‰~35‰时, 大泷六线鱼幼鱼 O : N 比值变化范围为 14.77~17.79, 超出适宜盐度范围后, O : N 比值下降, 蛋白质利用比例升高。使用丁香油和 MS-222 两种麻醉剂也可使 O : N 比值下降, 蛋白质利用比例升高。

4 结论

在大泷六线鱼幼鱼保活运输时, 可采取适度降温、维持自然盐度以及添加适宜浓度麻醉剂等方式降低其呼吸代谢强度, 提高运输成活率。本研究条件下, 丁香油、MS-222 用于大泷六线鱼幼鱼保活运输的最适浓度分别为 24 mg/L、20 mg/L, 两种麻醉剂相比, 丁香油对呼吸代谢强度的降低效果更好。适宜温度和盐度条件下, 大泷六线鱼幼鱼主要由蛋白质和脂肪提供能量。

参考文献:

[1] 成庆泰. 中国经济动物志(海产鱼类)[M]. 北京: 科

学出版社, 1962: 135-137.

Cheng Qingtai. Animal Spirits in China (Marine Fish)[M]. Beijing: Science Press, 1962: 135-137.

[2] 刘骁, 谢晶, 黄硕琳. 鱼类保活运输的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(8): 255-260.

Liu Xiao, Xie Jing, Huang Shuolin. Advances research of transportation to keep fish alive[J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(8): 255-260.

[3] Cho G K, Heath D D. Comparison of tricaine methanesulphonate (MS-222) and clove oil anaesthesia effects on the physiology of juvenile chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha* (Walbaum)[J]. Aquaculture Research, 2000, 31(6): 537-546.

[4] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 91-97.

Yin Mingcheng. Fish Ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 91-97.

[5] 庄平, 徐滨, 章龙珍, 等. MS-222 和丁香酚对中华鲟幼鱼耗氧率与排氨率的影响[J]. 中国水产科学, 2009, 16(4): 612-618.

Zhuang Ping, Xu Bin, Zhang Longzhen, et al. Effects of MS-222 and clove oil on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of juvenile Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(4): 612-618.

[6] 章龙珍, 杨金海, 刘鉴毅, 等. 温度、盐度、pH 和麻醉剂对长鳍篮子鱼幼鱼耗氧率的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(8): 1494-1498.

Zhang Longzhen, Yang Jinhai, Liu Jianyi, et al. Effects of water temperature, salinity, pH, and anaesthetics on oxygen consumption rate of juvenile *Siganus canaliculatus*[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(8): 1494-1498.

[7] 仇登高, 黄种持, 郑乐云, 等. 温度对不同规格珍珠龙胆石斑鱼(棕点石斑鱼♀ × 鞍带石斑鱼♂)呼吸和排泄的影响[J]. 中国水产科学, 2017, 24(2): 295-305.

Qiu Denggao, Huang Zhongchi, Zheng Leyun, et al.

- Effects of temperature on respiration and excretion by different sizes of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(2): 295-305.
- [8] 李加儿, 曹守花, 区又君, 等. 温度、盐度和 pH 对鲮幼鱼耗氧率、排氨率以及窒息点的影响[J]. 中国水产科学, 2014, 21(5): 954-962.
- Li Jiaer, Cao Shouhua, Qu Youjun, et al. Influence of temperature, salinity, and pH on oxygen consumption rate, ammonia excretion rate, and suffocation point in juvenile *Mugil cephalus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(5): 954-962.
- [9] 徐革锋, 王裕玉, 韩英, 等. 不同温度条件下运动和摄食对细鳞鲑幼鱼代谢模式的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(4): 1156-1162.
- Xu Gefeng, Wang Yuyu, Han Ying, et al. Effect of locomotion and feeding on metabolic mode of juvenile lenok, *Brachymystax lenok* (Pallas) under different water temperatures[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(4): 1156-1162.
- [10] 王刚, 李加儿, 区又君, 等. 环境因子对卵形鲳鲹幼鱼耗氧率和排氨率的影响[J]. 动物学杂志, 2011, 46(6): 80-87.
- Wang Gang, Li Jiaer, Qu Youjun, et al. Influence of environmental factors on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile *Trachinotus ovatus*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2011, 46(6): 80-87.
- [11] 宋苏祥, 刘洪柏, 孙大江, 等. 史氏鲟稚鱼的耗氧率和窒息点[J]. 中国水产科学, 1997, 4(5): 100-103.
- Song Suxiang, Liu Hongbai, Sun Dajiang, et al. The asphyxiation point and oxygen consumption rate of *Acipenser Schrenckii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1997, 4(5): 100-103.
- [12] 胡发文, 潘雷, 高凤祥, 等. 温度和盐度变化对大泷六线鱼幼鱼存活与生长的影响[J]. 海洋科学, 2012, 36(7): 44-48.
- Hu Fawen, Pan Lei, Gao Fengxiang, et al. Effects of temperature and salinity on growth and survival rate of young *Hexagrammos otakii*[J]. Marine Sciences, 2012, 36(7): 44-48.
- [13] Dickson I W, Kramer R H. Factors influencing scope for activity and active and standard metabolism of rainbow trout (*Salmo gairdneri*)[J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1971, 28(4): 587-596.
- [14] 孙丽华, 陈浩如. 温度和体质量对军曹鱼生长及氮收支的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(10): 1527-1534.
- Sun Lihua, Chen Haoru. Effects of water temperature and fish size on growth and nitrogen budget of cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(10): 1527-1534.
- [15] Savitz J. Effects of temperature and body weight on endogenous nitrogen excretion in the bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*)[J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1969, 26(7): 1813-1821.
- [16] Jobling M. Some effects of temperature, feeding and body weight on nitrogenous excretion in young plaice *Pleuronectes platessa* L[J]. Journal of Fish Biology, 1981, 18(1): 87-96.
- [17] Rao G M. Oxygen consumption of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) in relation to activity and salinity[J]. Canadian journal of zoology, 2011, 46(4): 781-786.
- [18] Norman Y S W, Scott P K. Effects of salinity and nutritional status on growth and metabolism of *Sparus sarba* in a closed seawater system[J]. Aquaculture, 1995, 135(1-3): 229-238.
- [19] 姚学良, 蔡琰, 张振奎, 等. 盐度突变对豹纹鳃棘鲈幼鱼耗氧率和排氨率的影响[J]. 天津农学院学报, 2013, 20(3): 29-33.
- Yao Xueliang, Cai Yan, Zhang Zhenkui, et al. Effects of salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Plectropomus Leopardus* Lacépède[J]. Journal of Tianjin Agricultural University, 2013, 20(3): 29-33.
- [20] Gaumet F, Boeuf G, Severe A, et al. Effects of salinity on the ionic balance and growth of juvenile turbot[J]. Journal of Fish Biology, 1995, 47(5): 865-876.
- [21] Guo F C, Teo L H, Chen T W. Effects of anaesthetics on the oxygen consumption rates of platyfish *Xiphophorus maculatus* (Günther)[J]. Aquaculture Research, 2008, 26(12): 887-894.
- [22] 张朝晖, 丛娇日, 王波, 等. 麻醉剂丁香酚对黄腊鲂耗氧的影响[J]. 海洋科学, 2003(6): 11-14, 34.
- Zhang Zhaohui, Cong Jiaori, Wang Bo, et al. The effect of anesthetic eugenol on the oxygen consumption rates of *Trachinotus blochii*[J]. Marine Sciences, 2003(6): 11-14, 34.
- [23] 李思发. 鱼类麻醉剂[J]. 淡水渔业, 1988(1): 22-23.
- Li Sifa. Anesthetics of fish[J]. Freshwater Fisheries, 1988(1): 22-23.
- [24] 魏锁成. 用于鱼类的麻醉剂及麻醉管理[J]. 西北民族大学学报(自然科学版), 2005(1): 43-45.
- Wei Suocheng. Anesthetics of fish and the management of them[J]. Periodical of Northwest Minzu University, 2005(1): 43-45.
- [25] 胡发文, 李莉, 刘元文, 等. 丁香油和 MS-222 对大泷六线鱼幼鱼的麻醉效果[J]. 大连海洋大学学报, 2017, 32(6): 671-675.
- Hu Fawen, Li Li, Liu Yuanwen, et al. Anesthesia effect of clove oil and MS-222 on juvenile fat greenling *Hexagrammos otakii*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2017, 32(6): 671-675.
- [26] 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 Wenhao, Dong Hongbiao, Sun Yongxu, 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.
- [27] 郝长杰, 庄平, 赵峰, 等. MS-222 和丁香酚对暗纹东方鲀幼鱼麻醉效果的比较研究[J]. 海洋渔业, 2019, 41(5): 546-554.
- Hao Changjie, Zhuang Ping, Zhao Feng, et al. Comparative study on anesthetic effect of MS-222 and clove oil on juvenile *Takifugu obscurus*[J]. Marine Fisheries, 2019, 41(5): 546-554.
- [28] 王波, 李继强, 曹志海, 等. 大西洋牙鲆幼鱼标准代谢的初步研究[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(1): 62-68.
- Wang Bo, Li Jiqiang, Cao Zhihai, et al. A preliminary study on standard metabolism of juvenile summer flounder (*paralichthys dentatus*)[J]. Advances in Marine Science, 2004, 22(1): 62-68.
- [29] Dall W, Smith D M. Oxygen consumption and ammonia-N excretion in fed and starved tiger prawn *Penaeus esculentus* Haswell[J]. Aquaculture, 1986, 55(1): 23-33.
- [30] Widdows J. Physiological indices of stress in *Mytilus edulis*[J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1978, 58: 125-142.

Influence of temperature, salinity, and anesthetics on the oxygen consumption and ammonia excretion rates in fat greenling (*Hexagrammos otakii*) juveniles

HU Fa-wen, WANG Xiao-long, GAO Feng-xiang, LI Li, JIAN Yu-xia, WANG Xue, FAN Ying, PAN Lei, GUO Wen

(Shandong Key Laboratory of Disease Control in Mariculture, Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao 266104, China)

Received: May 22, 2020

Key words: *Hexagrammos otakii*; oxygen consumption rate; ammonia excretion rate; clove oil; MS-222

Abstract: The effects of temperature, salinity, and anesthetics (clove oil and MS-222) on the oxygen consumption and ammonia excretion rates of fat greenling (*Hexagrammos otakii*) juveniles, with a body weight of 6.44 ± 0.59 g, was evaluated using the standing water respiratory chamber method. Temperature (8°C, 12°C, 16°C, 20°C, and 24°C), salinity (15‰, 20‰, 25‰, 30‰, and 35‰), clove oil (0, 8, 16, 24, 32, and 40 mg/L), and MS-222 treatments (0, 10, 20, 30, 40 mg/L) were evaluated. The results showed that temperature, salinity, and anesthetics have significant effects on the oxygen consumption and ammonia excretion rates. At 8°C, the oxygen consumption and ammonia excretion rates were lowest, increased with an increase of temperature, peaked at 20°C, and decreased at 24°C. At 30‰ salinity, the oxygen consumption and ammonia excretion rates were lowest and increased with an increase or decrease in salinity. Both oxygen consumption and ammonia excretion rates were reduced effectively by clove oil or MS-222 and clove oil was more effective. The optimal concentrations for clove oil and MS-222 for the *H. otakii* juveniles to survive transportation were 24 mg/L and 20 mg/L, respectively, at which the fish were in deep sedation and oxygen consumption and ammonia excretion rates were low. The O : N ratio was in the range of 14.77~24.11, indicating that the juvenile fish obtained energy mainly from protein and fat under suitable conditions of temperature and salinity. According to this study, the respiratory and metabolic activity of the *H. otakii* juvenile was low under moderate temperatures, natural salinity, or optimal concentrations of anesthetics—of which clove oil was more effective than MS-222. The results provide theoretical support for the transportation of high quality *H. otakii*.

(本文编辑: 杨 悦)