

网络出版时间:2021-07-07 10:42 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2022.01.005
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20210706.1727.015.html

养殖水温对金钱鱼幼鱼耗氧率、排氨率和窒息点的影响

蒋 飞^{1,2}, 徐嘉波^{1,2}, 施永海^{1,2}

(1 上海市水产研究所, 上海 200433; 2 上海市水产技术推广站, 上海 200433)

【摘 要】 【目的】研究不同养殖水温对金钱鱼幼鱼呼吸和代谢活动规律的影响,为其适宜养殖水温的确定提供依据。【方法】采用静水密闭式方法,在盐度 5 条件下,以体质量 (8.84 ± 0.32) g/尾的金钱鱼幼鱼为试验对象,设置 15, 20, 25, 30 和 35 °C 不同养殖水温处理,测算并分析不同处理金钱鱼幼鱼的耗氧率、排氨率、代谢率、排泄率、氧氮比、呼吸温度系数(Q_{10} 值)、排泄 Q_{10} 值、窒息点及其变化规律,以明确金钱鱼幼鱼适宜的养殖水温。【结果】养殖水温为 15~30 °C 时,金钱鱼幼鱼的耗氧率、排氨率、代谢率和排泄率均随着水温的升高而增加,在 30 °C 时达到峰值,分别为 0.46 mg/(g·h)、3.81 μ g/(g·h)、6.29 J/(g·h)和 0.09 J/(g·h), 35 °C 时均开始下降。在 15~35 °C 养殖水温内,金钱鱼幼鱼窒息点随着水温上升而升高,氧氮比为 71.76~261.04;呼吸 Q_{10} 值平均为 2.50, 20~25 °C 的呼吸 Q_{10} 值为 1.22;排泄 Q_{10} 平均为 2.23, 25~30 °C 养殖水温的排泄 Q_{10} 值为 1.10。【结论】盐度 5 条件下,金钱鱼幼鱼主要由碳水化合物和脂肪提供能量, 15~30 °C 为其适宜养殖水温,其中最适养殖水温为 20~30 °C。

【关键词】 金钱鱼幼鱼;养殖水温;耗氧率;排氨率;窒息点

【中图分类号】 S965.299

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2022)01-0036-07

Effects of water temperature on oxygen consumption rate, ammonia excretion rate and asphyxiation point of juvenile *Scatophagus argus*

JIANG Fei^{1,2}, XU Jiabo^{1,2}, SHI Yonghai^{1,2}

(1 Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai 200433, China;

2 Shanghai Fisheries Technical Extension Station, Shanghai 200433, China)

Abstract: 【Objective】 The effects of different water temperatures on respiratory metabolism of juvenile *Scatophagus argus* were investigated to provide evidence for determination of suitable temperature. 【Method】 Effects of different water temperatures (15, 20, 25, 30 and 35 °C) on oxygen consumption rate, ammonia excretion rate, metabolic rate, excretion rate, oxygen nitrogen ratio, respiratory Q_{10} , excretory Q_{10} and asphyxiation point of juvenile *S. argus* at weight of (8.84 ± 0.32) g cultured in low-salt water with salinity of 5 were studied by closed breathing experimental method. 【Result】 The oxygen consumption rate, ammonia excretion rate, metabolic rate and excretion rate increased with the increase of water temperature in the range of 15–30 °C. The peaks at 30 °C were 0.46 mg/(g·h), 3.81 μ g/(g·h), 6.29 J/(g·h) and 0.09 J/(g·h), respectively. The values began to decrease at 35 °C. In the range of 15–35 °C, the asphyxiation point increased with the increase of water temperature, and the average oxygen nitrogen ratio (O : N)

【收稿日期】 2021-02-05

【基金项目】 上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科攻字(2015)第 6-1-8 号);上海长江口主要经济水生动物人工繁育工程技术研究中心项目(13DZ2251800);上海市农业领军人才项目(沪委农办 2018-60)

【作者简介】 蒋 飞(1989—),男,江苏泰兴人,工程师,硕士,主要从事水产养殖及繁育研究。E-mail: yglj214@163.com

【通信作者】 施永海(1975—),男,浙江余姚人,研究员,主要从事水产养殖、水环境监测及繁殖生物学研究。

E-mail: yonghais@163.com

at 15—35 °C was 71.76—261.04. The average respiratory Q_{10} for all temperatures was 2.50 and the respiratory Q_{10} at 20—25 °C was 1.22. The average excretory Q_{10} for all temperatures was 2.23 and the excretory Q_{10} at 25—30 °C was 1.10. 【Conclusion】 Carbohydrates and fats mainly provided energy for juvenile *S. argus* under salinity of 5. The suitable water temperature was 15—30 °C for culturing juvenile *S. argus* with optimum range of 20—30 °C.

Key words: juvenile *Scatophagus argus*; water temperature; oxygen consumption rate; ammonia excretion rate; asphyxiation point

金钱鱼(*Scatophagus argus*)又名金鼓鱼,隶属鲈形目(Perciformes)金钱鱼科(Scatophagidae)金钱鱼属(*Scatophagus*)^[1-3]。金钱鱼生活在江河入海口的咸淡水交汇处,属于河口性鱼类,原产于印度尼西亚、泰国、菲律宾等地,具有广温广盐性,在海水、咸淡水或淡水中均可生长发育^[4-5]。金钱鱼体扁呈圆盘形,体色绚丽多彩,肉质鲜美,兼有观赏和食用的双重价值,已成为近年来我国南方沿海地区人工养殖的新品种。近年来,关于金钱鱼人工繁殖和养殖技术已取得重大突破,对其人工繁殖^[6]、胚胎发育观察^[7]以及生态混养^[8]等已有研究报道。呼吸和代谢是鱼类新陈代谢的基本生理活动,不仅能反应鱼类的新陈代谢规律,也能反应环境因子(温度、盐度和pH等)对鱼类生理活动的影响。温度是影响鱼类耗氧率和排氨率的重要环境因子。目前温度对鱼类的耗氧率和排氨率的研究报道很多,如邱成功等^[9]测定了不同温度对褐菖鲉(*Sebastiscus marmoratus*)幼鱼耗氧率和排氨率的影响,闫茂仓等^[10]研究了水温对条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)幼鱼呼吸和排泄的影响,唐道军等^[11]揭示了不同温度条件下黑鲷(*Girella melanichthys*)幼鱼的代谢和排泄特征等。金钱鱼的养殖主要以我国南方沿海地区为主,近年来,池塘低盐度养殖金钱鱼也获得成功,本课题组已经研究了不同盐度对金钱鱼幼鱼耗氧率和排氨率的影响,结果显示金钱鱼幼鱼的最佳培育盐度为5^[12]。但目前有关温度对金钱鱼幼鱼能量代谢的影响研究尚未见相关报道。因此,本试验以金钱鱼幼鱼为研究对象,研究温度对金钱鱼幼鱼耗氧率、排氨率和窒息点的影响,旨在探讨不同温度条件下金钱鱼幼鱼的呼吸和排泄特征,为其生理学研究提供基础资料,并为金钱鱼苗种运输和养殖生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

供试鱼为上海市水产研究所奉贤科研基地自繁

金钱鱼幼鱼。挑选健康无病、规格整齐、体质量为 (8.84 ± 0.32) g/尾的个体 125 尾,根据试验设计进行分组后暂养于 150 L 的圆缸中。试验用水盐度为 5,由当地自然海水(盐度 8~10)和当地河水调配而成。

1.2 试验设计

金钱鱼养殖水温一般在 15~35 °C,因此本试验设置 15,20,25,30,35 °C 共 5 个温度组,每组设 3 个重复,每个重复 4 尾金钱鱼幼鱼。在试验开始前,将水温通过水浴的方式以每天 1 °C 的速度升高至 5 个试验温度,并在试验温度下暂养 1 周,每天投喂饲料,正式试验开始前停饲 24 h。试验在 3 L 的三角锥形瓶中进行。

1.3 指标测算方法

1.3.1 耗氧率和排氨率 每个温度组设 3 个重复,并以 1 个空白无鱼瓶为对照。试验采用静水封闭式的方法,根据水温将三角锥形瓶密封时间控制在 18~60 min,以保证试验结束时三角锥形瓶中的溶解氧饱和度在 50% 以上。试验结束后,测定试验瓶中水样的溶解氧和氨氮含量,其中溶解氧含量测定采用数字溶氧仪(YSI-58,美国),氨氮含量测定采用苯酚-次氯酸盐法。用滤纸吸干鱼体表面水分后称其体质量(精确至 0.01 g)。

金钱鱼幼鱼耗氧率(R_O)和排氨率(R_N)计算公式如下:

$$R_O = (C_{O1} - C_{O2}) \cdot V / (t \cdot m);$$

$$R_N = (C_{N2} - C_{N1}) \cdot V / (t \cdot m)。$$

式中: R_O 为耗氧率(mg/(g·h)), C_{O1} 表示试验开始前和结束后试验瓶内的溶解氧差值(mg/L), C_{O2} 表示试验开始前和结束后对照瓶内的溶解氧差值(mg/L), V 表示呼吸瓶内水体积(L), t 表示测试持续时间(h), R_N 为排氨率(μ g/(g·h)), C_{N1} 和 C_{N2} 分别为试验开始和结束时水样的氨氮质量浓度(μ g/L), m 表示每个瓶中幼鱼的体质量(g/尾)。

1.3.2 代谢率和排泄率 代谢率和排泄率按下式计算:

$$R_M=k_O \cdot R_O;$$

$$R_E=k_N \cdot R_N。$$

式中： R_M 为代谢率(J/(g·h))， k_O 为氧卡系数(13.56 J/mg)， R_E 为排泄率(J/(g·h))， k_N 为氨卡系数(24.83×10^{-3} J/ μ g)。

1.3.3 氧氮比和温度系数(Q_{10} 值) 氧氮比和温度系数(Q_{10} 值)按下式计算：

$$\text{氧氮比}(O:N)=(R_O/16)/(R_N/14)；$$

$$\text{呼吸 } Q_{10}=(R_{M2}/R_{M1})^{10/(T_2-T_1)}；$$

$$\text{排泄 } Q_{10}=(R_{E2}/R_{E1})^{10/(T_2-T_1)}。$$

式中： R_{M1} 、 R_{M2} 分别是温度 T_1 和 T_2 时的代谢率， R_{E1} 、 R_{E2} 分别是温度 T_1 和 T_2 时的排泄率。

1.3.4 窒息点和窒息时间 每个温度组设 3 个重复，密封试验瓶后，观察瓶中金钱鱼幼鱼的活动和呼吸情况，直到半数幼鱼死亡(鱼体失去平衡，沉于瓶底，鳃不动)时，立刻记录窒息时间，并迅速测定瓶中水样对应的溶解氧含量(即窒息点)。

1.4 数据处理

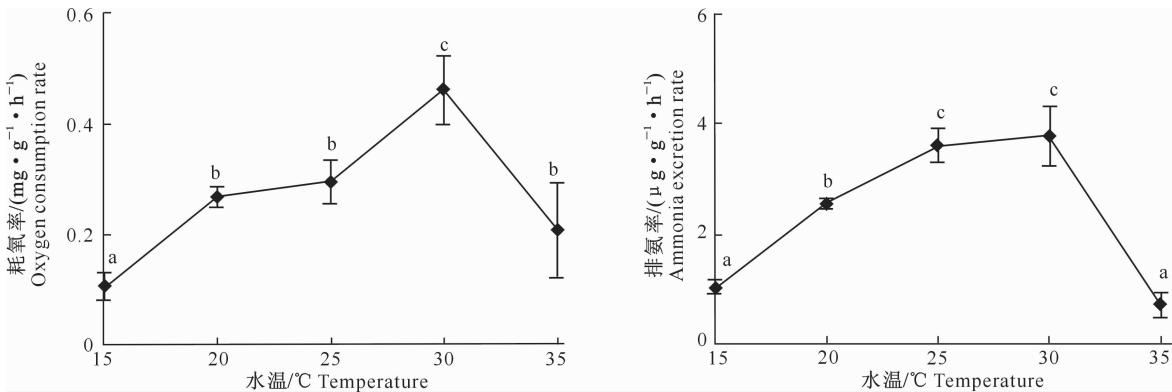
试验数据用“平均值±标准差”表示，采用 SPSS 23 进行数据处理，利用单因素(One-Way ANOVA)方差分析和 Duncan 多重比较进行统计分析， $P<$

0.05 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 养殖水温对金钱鱼幼鱼耗氧率和排氨率的影响

金钱鱼幼鱼在养殖水温 15~35℃时的耗氧率和排氨率变化见图 1。由图 1 可见，耗氧率和排氨率随养殖水温的升高均呈现先上升后下降的趋势，且均在 30℃时达到峰值，分别为 0.46 mg/(g·h) 和 3.81 μ g/(g·h)。金钱鱼幼鱼在 30℃时的耗氧率显著高于其余 4 个温度组($P<0.05$)，20、25 和 35℃组间的耗氧率均无显著性差异($P>0.05$)，分别为 0.27、0.30 和 0.21 mg/(g·h)，但均显著高于 15℃组的耗氧率 0.11 mg/(g·h)($P<0.05$)。25 和 30℃组的排氨率分别为 3.64 和 3.81 μ g/(g·h)，二者间无显著性差异($P>0.05$)，但均显著高于其余 3 个温度组($P<0.05$)；15 和 35℃组的排氨率分别为 1.07 和 0.74 μ g/(g·h)，二者无显著性差异($P>0.05$)，但均显著低于其余 3 个温度组($P<0.05$)。



不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)。下同

Different letters mean significant difference between groups ($P<0.05$). The same below

图 1 不同养殖水温下金钱鱼幼鱼的耗氧率和排氨率

Fig. 1 Oxygen consumption rate and ammonia excretion rates of juvenile *Scatophagus argus* under different temperatures

2.2 养殖水温对金钱鱼幼鱼代谢率和排泄率的影响

如图 2 所示，15℃组金钱鱼幼鱼的代谢率最低，为 1.47 J/(g·h)；随着养殖水温的上升，代谢率不断升高，至 30℃时代谢率达到最高 6.29 J/(g·h)，显著高于其余温度组($P<0.05$)；35℃组的代谢率显著降低为 2.84 J/(g·h)，与 20℃组的代谢率 3.64 J/(g·h)和 25℃组的代谢率 4.02 J/(g·h)均无显著性差异($P>0.05$)，但均显著高于 15℃组($P<$

0.05)。在养殖水温为 15~35℃时，金钱鱼幼鱼排泄率随养殖水温的升高呈现先上升后下降的趋势，变化于 0.02~0.09 J/(g·h)，最低值和最高值分别在 35℃和 30℃出现。在 25 和 30℃时，金钱鱼幼鱼的排泄率无显著性差异($P>0.05$)，但均显著高于其余各温度组($P<0.05$)；在 20℃时，金钱鱼幼鱼的排泄率(0.06 J/(g·h))显著高于 15 和 35℃组($P<0.05$)。

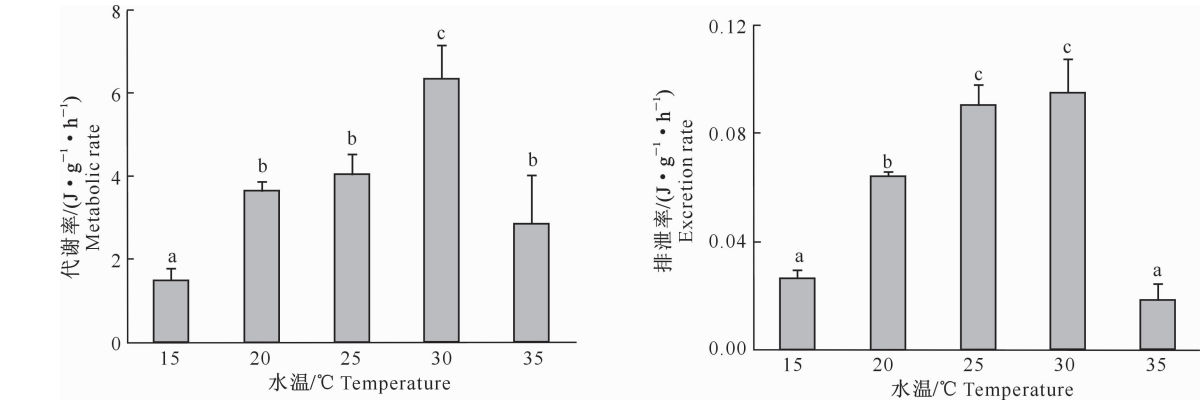


图 2 不同养殖水温下金钱鱼幼鱼的代谢率和排泄率

Fig. 2 Metabolic rate and excretion rate of juvenile *Scatophagus argus* under different temperatures

2.3 养殖水温对金钱鱼幼鱼氧氮比和 Q_{10} 值的影响

如图 3 所示,15,20,25 和 30 °C 组金钱鱼幼鱼的氧氮比无显著性差异($P>0.05$),分别为 88.50, 91.86,71.76 和 107.18,均显著低于 35 °C 组的 261.04($P<0.05$)。

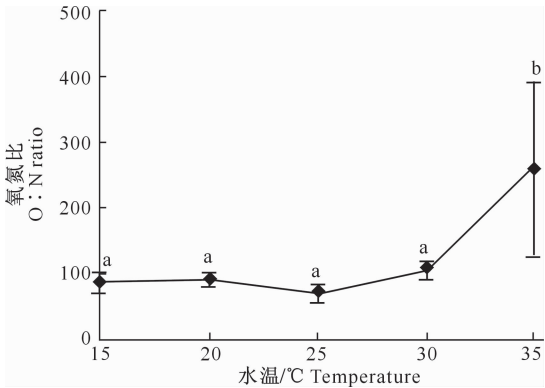


图 3 不同养殖水温下金钱鱼幼鱼的氧氮比

Fig. 3 O : N ratio of juvenile *Scatophagus argus* under different temperatures

邻近温度组间金钱鱼幼鱼呼吸和排泄的温度系

数(Q_{10} 值)见表 1。由表 1 可以看出,15~20 °C 时,金钱鱼幼鱼呼吸和排泄的 Q_{10} 值均最大,分别为 6.13 和 5.79;30~35 °C 时,金钱鱼幼鱼呼吸和排泄的 Q_{10} 值均最小,分别为 0.20 和 0.04。各邻近温度组间的呼吸和排泄的 Q_{10} 均值分别为 2.50 及 2.23。

表 1 不同养殖水温下金钱鱼幼鱼呼吸和排泄的温度系数(Q_{10} 值)

Table 1 Temperature coefficient (Q_{10} values) of respiration and excretion of juvenile *Scatophagus argus* under different temperatures

水温/°C Temperature	呼吸 Respiration	排泄 Excretion
15~20	6.13	5.79
20~25	1.22	2.02
25~30	2.45	1.10
30~35	0.20	0.04
均值 Mean	2.50	2.23

2.4 养殖水温对金钱鱼幼鱼窒息点及窒息时间的影响

不同养殖水温下金钱鱼幼鱼的窒息点和窒息时间结果见图 4。

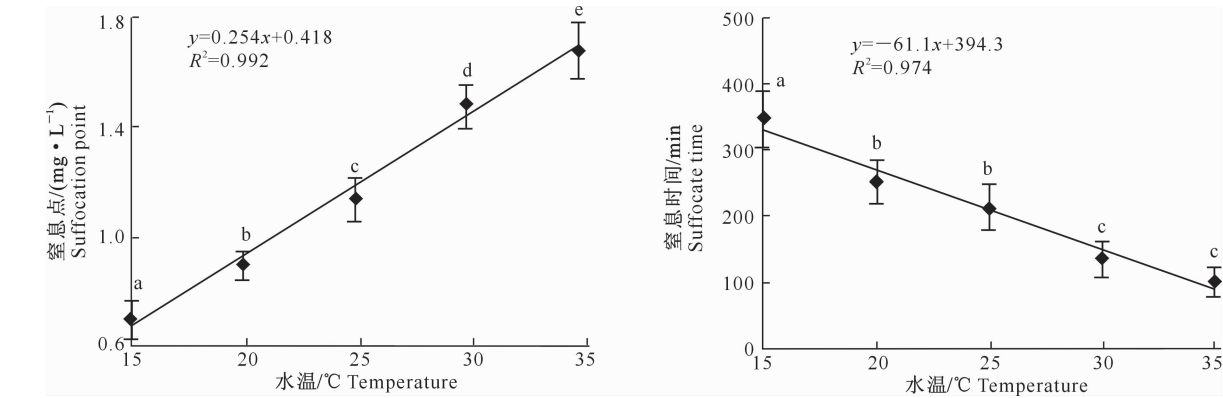


图 4 不同养殖水温下金钱鱼幼鱼的窒息点和窒息时间

Fig. 4 Suffocation point and suffocate time of juvenile *Scatophagus argus* under different temperatures

如图 4 所示,在养殖水温为 15~35 ℃时,金钱鱼幼鱼的窒息点与养殖水温呈正相关,两者关系符合一元一次方程: $y=0.254x+0.418$ ($R^2=0.992$, $P<0.05$, y 为窒息点, x 为水温);在养殖水温为 15 ℃时,金钱鱼幼鱼的窒息点最低,为 0.70 mg/L;35 ℃时达到最高,为 1.68 mg/L。在养殖水温为 15~35 ℃时,水温越低,金钱鱼幼鱼的窒息时间越长,两者呈负相关,其关系式为: $y=-61.1x+394.3$ ($R^2=0.974$, y 为窒息时间, x 为水温)。

3 讨 论

3.1 养殖水温对鱼类耗氧率和排氨率的影响

鱼类是变温动物,养殖水温对其生长发育和新陈代谢至关重要,是影响鱼类呼吸和排泄的重要环境因素^[13-16]。在适温范围内,水温越高,鱼体内各种酶的活性也相应提高,基础代谢速率加快,耗氧率和排氨率也随之升高。鱼体的生理代谢水平越高,耗氧率和排氨率也会随着温度的升高而增加^[17-18],鱼体细胞酶的活性增强,新陈代谢加快,氧的消耗增加,代谢产物增多^[19]。而当水温超出适温范围时,会引起鱼类生理功能紊乱,其耗氧率和排氨率便会出现下降趋势^[20-22]。本研究结果表明,在水温 15~30 ℃时,金钱鱼幼鱼的耗氧率和排氨率随着水温升高而升高,说明 15~30 ℃在金钱鱼幼鱼生长的适温范围内;而在 30~35 ℃时,随着水温的上升,金钱鱼幼鱼的耗氧率和排氨率均呈现下降趋势,这说明 35 ℃可能已经超出金钱鱼幼鱼生长的适温范围,该现象与前人对史氏鲟(*Acipenser schrenckii*)^[23]、黑鳍棘鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)^[24]、条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)^[25]、卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)^[26]、鲮(*Mugil cephalus*)^[26]和花鲈(*Lateolabrax japonicus*)^[27]等的研究结果一致。

本研究在水温 25 ℃、盐度 5 条件下,金钱鱼幼鱼((8.84±0.32) g/尾)的排氨率为 3.64 μg/(g·h),显著低于本课题组之前的研究结果:水温 24 ℃、盐度 5 条件下,金钱鱼幼鱼(9.0 g/尾左右)的排氨率为 0.06 mg/(g·h)^[12]。这可能是由于供试鱼的来源不同,本研究中的金钱鱼幼鱼是人工繁殖饲养的,本课题组之前研究所选的是从珠江天然水域捕捞的野生金钱鱼仔鱼饲养为幼鱼,人工繁殖饲养的金钱鱼幼鱼可能与野生驯化的金钱鱼幼鱼在代谢水平上存在差异,这也是导致氧氮比结果存在差异的原因。

3.2 养殖水温对鱼类氧氮比和温度系数的影响

蛋白质、脂肪和碳水化合物是鱼类有机体的三大能源物质,氧氮比是反映其提供鱼类能量比率的重要生理指标^[28]。当有机体以蛋白质为氧化基质供能时,氧氮比为 7.0~9.3^[29];Ikeda^[30]认为,以蛋白质和脂肪供能时氧氮比约为 24;氧氮比随着碳水化合物和脂肪被利用比例的增高而逐渐增大,直至氧氮比无穷大,说明完全由碳水化合物或脂肪供能^[31]。闫茂仓等^[32]、黄建盛等^[15]证实了鲢鱼(*Miichthys miiuy*)和斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)也基本符合同样的规律,不同温度下鲢鱼和斜带石斑鱼幼鱼的平均氧氮比分别为 21.86 和 25.90,说明鲢鱼和斜带石斑鱼幼鱼的能量主要来源于蛋白质和脂肪。本研究中,金钱鱼幼鱼在 15~35 ℃的氧氮比为 71.76~261.04,显著高于鲢鱼和斜带石斑鱼幼鱼,表明 15~35 ℃时金钱鱼幼鱼供能物质主要以碳水化合物和脂肪为主,蛋白质则被优先保存用于生长所需,这与邱成功等^[9]、陈宣雄等^[25]的研究结果一致;在 15~30 ℃时各温度组间的氧氮比无显著性差异($P>0.05$),说明 15~30 ℃时金钱鱼幼鱼的能源物质比例基本一致。

温度系数 Q_{10} 是分析水温对鱼类代谢影响的重要指标之一,反映了鱼类体内代谢速率与水温的相关性。通常认为 Q_{10} 值越大,鱼类生理活动受水温变化的影响程度就越大^[33]。在鱼类的耐受温度范围内,当鱼类恢复或接近其在一定温度变化范围的代谢调节点时,鱼类能保持良好的体内稳态,此时 Q_{10} 会降低^[34]。本研究中,排泄 Q_{10} 值随着水温的升高而降低,说明水温对金钱鱼幼鱼代谢的影响降低,这与刘伟成等^[35]对美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)的研究结果类似。当水温由 15 ℃升高至 20 ℃时,金钱鱼幼鱼的呼吸 Q_{10} 值已达 6.13,说明其代谢率受水温变化的影响程度大;当水温由 30 ℃升至 35 ℃时,金钱鱼幼鱼的呼吸 Q_{10} 值降至最低 0.20,小于 1,则说明此时代谢水平出现下降,水温已经接近其生存上限,金钱鱼幼鱼对水温变化的敏感度也下降,这与陈宣雄等^[25]对条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)的研究结果一致。在本研究金钱鱼幼鱼的适温范围内,20~25 ℃的呼吸 Q_{10} 值为 1.22,25~30 ℃的排泄 Q_{10} 值为 1.10,说明 20~30 ℃时金钱鱼幼鱼能减少代谢耗能,将更多的能量用于生长,这与黄建盛等^[15]和刘建忠等^[19]对斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)、河川沙塘鳢(*Odontobutis potamophila*)

的研究结果一致,因此 20~30 ℃为金钱鱼幼鱼的最适温度。

3.3 养殖水温对鱼类窒息点的影响

鱼类的窒息点能够反映鱼类对低氧的耐受性和对环境的适应能力,主要与鱼种类、生活习性、发育阶段以及呼吸器官的发达程度等有关^[36-37]。研究鱼类的窒息点,可以获得鱼类在各种环境条件下对低氧耐受能力的重要参数,对其养殖生产及苗种运输有重要的指导意义^[38]。本研究发现,在 15~35 ℃时,金钱鱼幼鱼窒息时间随着水温的升高而缩短,相反,窒息点随着水温的上升而升高,这与星洲红鱼(Red tilapia)^[37]、梭鲈(*Sander lucioperca*)^[13]等幼鱼窒息点的变化规律一致。因此在金钱鱼幼鱼培育过程中,尤其是高温季节,要密切关注水中溶解氧情况,同时在其运输过程中需要适当降低运输水温,保证水体溶解氧含量,避免因缺氧造成损失。

4 结 论

在盐度 5 条件下,金钱鱼幼鱼主要由碳水化合物和脂肪提供能量,15~30 ℃为金钱鱼幼鱼养殖适宜水温,最适水温为 20~30 ℃;在 15~35 ℃内,金钱鱼幼鱼窒息时间随着水温的升高而降低,所以在金钱鱼幼鱼运输过程中要适当降低运输水温,保证溶解氧充足。

[参考文献]

[1] 兰国宝,阎 冰,廖思明,等. 金钱鱼生物学研究及回顾 [J]. 水产科学,2005,24(7):39-41.
Lan G B,Yan B,Liao S M,et al. Biology of spotted scat *Scatophagus argus*: a review [J]. Fisheries Science,2005,24(7):39-41.

[2] 蔡泽平,胡家玮,王 毅. 金钱鱼早期发育的观察 [J]. 热带海洋学报,2014,33(4):20-25.
Cai Z P,Hu J W,Wang Y. Observing early development of *Scatophagus argus* [J]. Journal of Tropical Oceanography,2014,33(4):20-25.

[3] 杨世平,杨丽专,陈兆明,等. 盐度、pH 和温度对金钱鱼幼鱼存活的影响 [J]. 安徽农业科学,2014,42(27):9386-9389.
Yang S P,Yang L Z,Chen Z M,et al. Effects of abrupt changes in salinity,pH and temperature on survival of juvenile *Scatophagus argus* [J]. Journal of Anhui Agriculture Science,2014,42(27):9386-9389.

[4] Barry T P,Fast A W. Biology of the spotted scat (*Scatophagus argus*) in philippines [J]. Asian Fisheries Science,1992(5):163-179.

[5] 蔡泽平,王 毅,胡家玮,等. 金钱鱼繁殖生物学及诱导产卵试验 [J]. 热带海洋学报,2010,29(5):180-185.

Cai Z P,Wang Y,Hu J W,et al. Reproductive biology of *Scatophagus argus* and artificial induction of spawning [J]. Journal of Tropical Oceanography,2010,29(5):180-185.

[6] 徐嘉波,施永海,张根玉,等. 一种金钱鱼室内水泥池人工繁殖方法:中国,107549064B [P]. 2019-08-02.
Xu J B,Shi Y H,Zhang G Y,et al. Indoor cement pit artificial propagation method for *Scatophagus argus*:CN,107549064B [P]. 2019-08-02.

[7] 徐嘉波,施永海,谢永德,等. 池塘养殖金钱鱼的胚胎发育及胚后发育观察 [J]. 安徽农业大学学报,2016,43(5):716-721.
Xu J B,Shi Y H,Xie Y D,et al. Embryonic and postembryonic development of *Scatophagus argus* in pond-culture [J]. Journal of Anhui Agricultural University,2016,43(5):716-721.

[8] 胡振雄. 凡纳滨对虾-金钱鱼-蔬菜综合养殖模式的初步探讨 [D]. 上海:上海海洋大学,2013.
Hu Z X. Primary studies on integrated culture of *Litopenaeus vannamei*, *Scatophagus argus* and *Ipomoea aquatic* [D]. Shanghai:Shanghai Ocean University,2013.

[9] 邱成功,徐善良,林少珍,等. 不同温度条件下褐菖鲉幼鱼的耗氧率和排氨率 [J]. 应用海洋学学报,2014,33(1):84-89.
Qiu C G,Xu S L,Lin S Z,et al. Oxygen consumption and ammonia excretion rates of juvenile *Sebastes marmoratus* under different temperature treatments [J]. Journal of Applied Oceanography,2014,33(1):84-89.

[10] 闫茂仓,单乐州,谢起浪,等. 温度、盐度及体重对条石鲷幼鱼耗氧率和排氨率的影响 [J]. 海洋科学进展,2008,26(4):486-496.
Yan M C,Shan L Z,Xie Q L,et al. Influence of temperature, salinity and body weight on oxygen consumption and ammonia excretion of *Oplegnathus fasciatus* juvenile [J]. Advances in Marine Science,2008,26(4):486-496.

[11] 唐道军,徐善良,马 斌. 温度对黑魮幼鱼耗氧率和排氨率的影响 [J]. 动物学杂志,2013,48(2):256-260.
Tang D J,Xu S L,Ma B. Influence of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile *Girella melanichthys* [J]. Chinese Journal of Zoology,2013,48(2):256-260.

[12] Xu J B,Shui C,Shi Y H,et al. Effect of salinity on survival, growth, body composition, oxygen consumption, and ammonia excretion of juvenile spotted scat [J]. North American Journal of Aquaculture,2020,82:54-62.

[13] 付监贵,张振早,李彩娟,等. 温度对不同体质量梭鲈幼鱼耗氧率、排氨率及窒息点的影响 [J]. 水产养殖,2018,39(10):18-22.
Fu J G,Zhang Z Z,Li C J,et al. Effect of temperature on oxygen consumption rate, ammonia excretion rate and suffocation point of *Sander lucioperca* juvenile [J]. Journal of Aquaculture,2018,39(10):18-22.

[14] 何 亚,王 华,王 伟,等. 温度对不同体质量红鳍东方鲀幼鱼耗氧率和排氨率的影响 [J]. 大连海洋大学学报,2014,29(5):481-485.
He Y,Wang H,Wang W,et al. Influence of temperature on

- oxygen consumption and ammonia excretion in tiger puffer *Takifugu rubripes* juveniles with various body weights [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2014, 29(5): 481-485.
- [15] 黄建盛, 陈刚, 张健东, 等. 温度、pH 及体重对低盐水体下斜带石斑鱼幼鱼耗氧率与排氨率的影响 [J]. 动物学杂志, 2016, 51(6): 1038-1048.
- Huang J S, Chen G, Zhang J D, et al. Effects of temperature, pH and body wet weight on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of orange-spotted grouper *Epinephelus coioides* juveniles cultured in low-salt water [J]. Chinese Journal of Zoology, 2016, 51(6): 1038-1048.
- [16] 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 G, Li J E, Ou Y J, 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.
- [17] 叶乐, 杨圣云, 刘敏, 等. 温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响 [J]. 生态学报, 2012, 32(14): 4516-4524.
- Ye L, Yang S Y, Liu M, et al. Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of yellowtail clown fish *Amphiprion clarkii* (Pisces: Perciformes) during larval development [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4516-4524.
- [18] 杜劲松, 高攀, 刘立志, 等. 温度、体重、摄食和光照对白斑狗鱼幼鱼耗氧率的影响 [J]. 淡水渔业, 2011, 41(4): 47-51.
- Du J S, Gao P, Liu L Z, et al. Effects of water temperature, body weight, feeding state and photoperiod on oxygen consumption rate of *Esox lucius* [J]. Freshwater Fisheries, 2011, 41(4): 47-51.
- [19] 刘建忠, 施永海, 邓平平, 等. 温度对河川沙塘鳢幼鱼耗氧率和排氨率的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(3): 273-276.
- Liu J Z, Shi Y H, Deng P P, et al. Effect of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion of sleeper *Odontobutis potamophila* juveniles [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(3): 273-276.
- [20] 王琨, 丘书院. 花尾胡椒鲷幼鱼内、外源性氮和总氮排泄率的研究 [J]. 热带海洋学报, 2001, 20(3): 87-92.
- Wang M, Qiu S Y. Study on excretion rate of endogenous, exogenous and total nitrogen of juvenile *Plectorhynchus cinctus* temminck [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2001, 20(3): 87-92.
- [21] 刘鹏, 宋协法, 葛长宇. 温度、体重和昼夜节律对大菱鲆幼鱼代谢的影响 [J]. 河北渔业, 2009(5): 1-4.
- Liu P, Song X F, Ge C Z. Effects of temperature, body weight and diurnal rhythm on metabolism of *Scophthalmus maximus* [J]. Hebei Fisheries, 2009(5): 1-4.
- [22] 乔德亮, 李思发, 凌去非, 等. 白斑狗鱼耗氧率和窒息点研究 [J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(2): 202-206.
- Qiao D L, Li S F, Ling Q F, et al. Study on oxygen consumption rate and suffocation point of white spot pike (*Esox lucius*) [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(2): 202-206.
- [23] 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 S X, Liu H B, Sun D J, et al. The asphyxiation point and oxygen consumption rate of *Acipenser schrenckii* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1997, 4(5): 100-103.
- [24] 王跃斌, 孙忠, 余方平, 等. 温度对黑鳍棘鲷耗氧率与排氨率的影响 [J]. 海洋渔业, 2008, 29(4): 375-379.
- Wang Y B, Sun Z, Yu F P, et al. Effects of temperature on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Acanthopagrus schlegelii* [J]. Marine Fisheries, 2008, 29(4): 375-379.
- [25] 陈宣雄, 徐善良, 沈庞幼, 等. 温度对条石鲷幼鱼代谢率、排泄率及窒息点的影响 [J]. 海洋学研究, 2012, 30(1): 95-101.
- Chen X X, Xu S L, Shen P Y, et al. Impacts of temperature on metabolic, excretion rate and asphyxiation point of juvenile *Oplegnathus fasciatus* [J]. Journal of Marine Sciences, 2012, 30(1): 95-101.
- [26] 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 J E, Cao S H, Ou Y J, 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.
- [27] 沈勤, 徐善良, 严小军, 等. 温度对花鲈饥饿代谢的影响 [J]. 中国水产科学, 2008, 15(3): 126-131.
- Shen Q, Xu S L, Yan X J, et al. Effects of water temperature on metabolizability of starved *Lateolabrax japonicus* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(3): 126-131.
- [28] 种金豆, 李琪, 王涛. 长牡蛎壳黑选育品系和野生群体在摄食和代谢方面的比较 [J]. 水产学报, 2019, 43(4): 1038-1047.
- Zhong J D, Li Q, Wang T. Comparison of feeding and metabolism between black-shell strain and wild population of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(4): 1038-1047.
- [29] Mayzaud P. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton; IV. the influence of starvation on the metabolism and the biochemical composition of some species [J]. Marine Biology, 1976, 37(1): 47-58.
- [30] Ikeda T. Nutritional ecology of marine zooplankton [J]. Memoirs of the Faculty of Fisheries Hokkaido University, 1974, 22(1): 1-97.
- [31] Conover R J, Corner E D S. Respiration and nitrogen excretion by some marine zooplankton in relation to their life cycles [J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1968, 48(1): 49-75.

nese fir [J]. Forest Research, 2002, 15(5): 559-563.

[34] 焦云德,赵 燕,赵 鲲,等. 楸树无性系生长和生理特性研究 [J]. 湖北农业科学, 2016, 55(22): 5858-5863.

Jiao Y D, Zhao Y, Zhao K, et al. Study on growth and physiological characteristics of *Catajpt bungei* clones [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2016, 55(22): 5858-5863.

[35] 马常耕,周天相,徐金良. 杉木无性系生长的遗传控制和早期选择初探 [J]. 林业科学, 2000, 36(1): 62-69.

Ma C G, Zhou T X, Xu J L. A preliminary study on genetic control of growth traits and early selection of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* Hook) clones [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2000, 36(1): 62-69.

[36] 陈代喜,李魁鹏,黄开勇,等. 广西 20 年生杉木无性系测定与早期选择研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(11): 9-13.

Chen D X, Li K P, Huang K Y, et al. Study on early selection and experiment of Guangxi 20-year-old Chinese fir clone [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2017, 37(11): 9-13.

(上接第 42 页)

[32] 闫茂仓,单乐州,邵鑫斌,等. 温度及体重对鮰鱼幼鱼耗氧率和排氨率的影响 [J]. 热带海洋学报, 2007, 26(1): 44-49.

Yan M C, Shan L Z, Shao X B, et al. Influence of temperature and weight on respiration and excretion of juvenile *Miichthys miju* [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2007, 26(1): 44-49.

[33] 廖志洪,林小涛,王 春,等. 黄颡鱼仔、稚、幼鱼耗氧率及氨氮排泄率的初步研究 [J]. 生态科学, 2004, 23(3): 223-226.

Liao Z H, Lin X T, Wang C, et al. Primary study on oxygen consumption and NH₃-N excretion rate of larvae, juvenile and young *Pelteobogrus fulvidraco* [J]. Ecologic Science, 2004, 23(3): 223-226.

[34] Dalvi R S, Pal A K, Tiwari L R, et al. Thermal tolerance and oxygen consumption rates of the catfish *Horabagrus brachysoma* (Günther) acclimated to different temperatures [J]. Aquaculture, 2009, 295(1): 116-119.

[35] 刘伟成,冀德伟,张赛乐,等. 温度、盐度和体重对美国红鱼幼鱼呼吸和排泄的影响 [J]. 浙江农业学报, 2014, 26(6): 1478-1483.

Liu W C, Ji D W, Zhang S L, et al. Effects of different temperature, salinity and body weight on respiration and excretion of juvenile *Sciaenops ocellatus* [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensi, 2014, 26(6): 1478-1483.

[36] 陈王柯,包 杰,倪锡远,等. 温度及其突然变化对泥鳅耗氧率、排氨率和窒息点的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2014, 45(6): 741-745.

Chen W K, Bao J, Ni X Y, et al. Effects of temperature and sudden change on oxygen consumption rate, ammonia excretion rate and asphyxiation point of loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2014, 45(6): 741-745.

[37] 邓超准,黄永春,陈辉辉,等. 体质量和温度对星洲红鱼耗氧率、排氨率和窒息点的影响 [J]. 淡水渔业, 2015(5): 90-95.

Deng C Z, Huang Y C, Chen H H, et al. Effects of body weight and temperature on oxygen consumption rate, ammonia excretion rate and asphyxiation point of Red tilapia [J]. Freshwater Fisheries, 2015(5): 90-95.

[38] 孙宝柱,黄 浩,曹文宣,等. 厚颌鲂和圆口铜鱼耗氧率与窒息点的测定 [J]. 水生生物学报, 2010, 34(1): 19-24.

Sun B Z, Huang H, Cao W X, et al. Studies on the oxygen consumption rate and asphyxiation point of *Megalobrama pellegrini* and *Coreius guichenoti* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010, 34(1): 19-24.