

Chen X, Lou Q Y, Zhai G, *et al.* Water temperature on growth and lipid metabolism in chinese mandarin fish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2025, 49(10): 102512. [陈星, 娄气永, 翟刚, 等. 不同养殖温度对雌雄翘嘴鳊生长及肝脏脂肪代谢的影响 [J]. 水生生物学报, 2025, 49(10): 102512.]

不同养殖温度对雌雄翘嘴鳊生长及肝脏脂肪代谢的影响

陈 星^{1,2} 娄气永^{3*} 翟 刚³ 王中博^{1,2} 陈 岗¹ 魏辉杰¹ 殷 战³ 高银爱¹
沈志刚² 童金苟³ 杨 凯^{1*}

(1. 武汉市农业科学院, 武汉 430072; 2. 华中农业大学水产学院水产学院, 武汉 430072; 3. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

摘要: 为解析翘嘴鳊(*Siniperca chuatsi*)在不同养殖温度下生长和代谢的差异, 实验研究了不同温度(28℃、35℃和36℃)下雌雄鳊的生长、肝脂肪代谢及氧化应激的影响。结果显示: 在28℃时, 雌性生长较雄性快; 在35℃时, 雌雄鳊生长均显著高于28℃, 且雄鳊的生长速度显著高于雌性, 雌雄鳊生长差异在高温环境中发生显著转变; 在36℃养殖条件下, 雌雄鳊的生长受到严重抑制, 说明36℃是鳊正常生存的临界温度; 雌雄鳊肝脏脂滴数量及TG含量整体呈先增后降的趋势, 在35℃时雄鳊肝脏胰岛素基因、糖异生基因和脂肪分解基因表达升高; 雌雄鳊SOD活性变化相反, 雌鳊SOD活性下降, 而雄鳊SOD活性显著升高, 两者MDA含量均显著升高, 但雌鳊比雄鳊增加了2倍以上; 雌鳊35℃时肝脏中*hsp70*、*hsp90*、*ucp2*、*sod*及*cat*基因的表达量均显著降低, 雄鳊肝脏中除*sod*表达量显著升高外, 其他基因表达量与雌鳊变化趋势一致。研究表明, 雌雄鳊的生长可能与二者脂肪利用呈正相关, 在高温养殖条件下, 雄鳊的代谢率增长显著高于雌鳊; 长期高温养殖引起雌雄鳊的生长发生反转, 并挖掘了高温条件下全雄群体的养殖价值。

关键词: 性别二态性; 高温环境; 生长差异; 脂类代谢; 抗氧化; 翘嘴鳊

中图分类号: S965.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2025)10-102512-10

doi: 10.3724/1000-3207.2025.2025.0090 CSTR: 32229.14.SSSWXB.0000.0000



翘嘴鳊(*Siniperca chuatsi*), 亦称鳊, 隶属于鲈形目(Perciformes)鲈科(Percichthyidae)翘嘴鳊属(*Siniperca*), 其肉质鲜美、营养丰富, 有“淡水石斑鱼”的美誉^[1], 是我国最具有养殖前景的特色淡水品种^[2]。

生长性别二态性(Sexual Size Dimorphism, SSD)在鱼类中普遍存在^[3], 主要表现出两种类型, 一种是雄性大于雌性, 如尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[4]和黄颡鱼(*Pelteobagrus vachellii*)^[5]; 另一种是雌性大于雄性, 如鲤(*Cyprinus carpio*)^[6]、牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)^[7]和鳊^[8]。温度是影响鱼类生长和性别分化最主要的环境因素, 适宜的水温有助于鱼类的生长发育, 而超过耐受阈值就会对鱼体

造成胁迫, 如草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)^[9]在18—25℃时, 随着温度升高, 生长越快, 但是当环境温度在32℃时, 生长就会受到抑制^[9]; 也有研究发现黄颡鱼^[10]和尼罗罗非鱼^[11]在高温下会产生更多的雄性, 而斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)^[12]和舌鳎(*Dicentrarchus labrax*)^[13]在高温下则会产生更多的雌性; 温度较周围水域升高6.3℃会导致河鲈(*Perca fluviatilis*)雌性生长加快, 但雄性生长则受到抑制^[14]。温度升高也会导致加州鲈(*Micropterus salmoides*)发生免疫反应, 且具有性别二态性, 雄性加州鲈免疫反应更强^[15]。研究不同温度下鳊两性生长和代谢差异可以揭示鳊特定性别的生长和代谢状态。

收稿日期: 2025-03-20; 修订日期: 2025-06-11

基金项目: 湖北省自然科学基金面上类项目(2022CFB465); 现代农业产业技术体系专项资金(CARS-46); 湖北省农业科技创新中心项目资助 [Supported by the Hubei Provincial Natural Science Foundation of China (2022CFB465); China Agriculture Research System (CARS-46); Agricultural Science and Technology Research Project of Hubei]]

作者简介: 陈星, 女, 硕士研究生; 研究方向为鱼类遗传与育种。E-mail: 2251048907@qq.com

通信作者: 杨凯, 男, 高级工程师; 研究方向为鱼类遗传育种。E-mail: yangkaihappy@163.com 娄气永, 男, 副研究员; 研究方向为鱼类分子育种。E-mail: louqiyong@ihb.ac.cn *共同通信作者

肝脏是鱼类机体脂代谢的重要器官, 脂代谢紊乱会引发一系列问题, 如食欲减退、生长缓慢和肝脏受损等^[16]。现有研究表明, 在遭受高温胁迫时, 虹鳊(*Oncorhynchus mykiss*)会降低脂肪分解酶的活性, 阻碍机体对脂肪的利用, 引起脂肪的沉积^[17], 短体下眼鳊(*Horabagrus brachysoma*)则会加强对脂肪的分解利用^[18], 而不同养殖温度对雌雄鳊的生长差异及肝脏脂肪代谢的影响目前还并不清楚。另外, 高温会导致体内自由基升高, 作用于脂质引起过氧化反应, 产生丙二醛(Malondialdehyde, MDA), 加剧细胞膜的损伤, 反映组织细胞受活性氧自由基(Reactive oxygen species, ROS)的攻击程度, 从而间接反映机体抗氧化能力的强弱^[19]。如中华鲟(*Acipenser sinensis*)随着水温的升高, 其MDA含量也显著升高, 与ROS含量呈显著正相关^[20]。也有研究表明线粒体解偶联蛋白2(UCP2)可减少ROS的产生, 通过控制超氧化物和其他下游ROS的产生, 对许多细胞具有保护作用, 线粒体解偶联已被确定为氧化应激条件下的细胞保护策略^[21]。

因此, 为解析翘嘴鳊在不同养殖温度下生长和代谢的差异, 本研究以翘嘴鳊为研究对象, 研究不同养殖温度对雌雄鳊的生长、肝脏脂肪代谢、抗氧化能力及相关基因表达的影响, 以期阐明高温对雌雄鳊的生理影响及初步机理, 从而为鳊在高温季节的养殖提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本实验所用鳊购自湖北三同水产种业有限公司, 共500尾, 规格均匀整齐, 体质健壮, 平均体质量为 (0.2 ± 0.06) g, 平均体长为 (2 ± 0.23) cm。在实验开始前, 鳊幼鱼在室内养殖缸(60 cm×30 cm×35 cm)中, 采用循环水养殖系统暂养14d, 水温维持在 (28 ± 0.2) ℃, 光暗比1:1, 暂养期间及实验期间以适口的鲢鱼苗为饵料, 每天投喂1次, 每次投喂的鲢鱼苗数量为实验鳊鱼苗数量的5倍。实验用水为曝气48h以上的自来水, 24h不间断泵气增氧, 暂养及实验期间保持水体溶解氧含量大于6 mg/L、pH 7.0—7.5。

1.2 实验设计

在暂养结束后, 选取规格一致、体质健壮、无外伤的实验鳊幼鱼180尾, 随机放入鱼缸中。基于课题组预实验发现, 当养殖温度超过36.5℃时, 实验鳊幼鱼不摄食, 并于48h内全部死亡, 再结合前人研究发现25—35℃是鳊的“最适温度范围”^[22], 故将实验设置为28℃、35℃、36℃共3个温度水平, 以28℃

为对照, 每个温度水平设置3个平行, 每个平行放养20尾, 采用控温加热棒(型号: MX-1032, 800W, 购自中国WEIPRO/韦柏)对各处理组加热, 控温精度为 ± 0.2 ℃。在实验开始前对各处理组以1℃/12h的升温速率逐步升温, 待升至预设温度时, 开始实验。实验周期为60d, 实验期间属于内循环系统, 保持水温与设定温度相差不超过0.2℃。

1.3 性别鉴定与样品采集处理

在实验结束时, 对所有实验鳊饥饿处理24h, 测量并记录体长(精确到0.1 cm)与体质量(精确到0.1 g), 采集尾鳍, 放入95%乙醇中保存备用, 用于性别鉴定。3组实验鳊性别均使用周颖等^[23]开发的鳊性别特异性分子标记鉴定, 取保存好的尾鳍, 使用高盐抽提法提取尾鳍组织基因组DNA, 进行PCR扩增, PCR反应体系为20 μL: 2×T5 Super PCR Mix (北京擎科生物公司) 10 μL, 正反引物各1 μL, DNA模板1 μL, ddH₂O 7 μL, 反应程序: 94℃预变性4min, 94℃变性35s, 54℃ 35s, 72℃延伸40s, 72℃终延伸10min, 32个循环。在PCR扩增完成后, 取3 μL扩增产物, 使用1.5%琼脂糖凝胶进行电泳, 以Trans 2K Pluss II DNA Maker (北京全氏金生物技术股份有限公司)作为参照, 检测片段长度, 如果为雌性, 则无条带, 如果为雄性, 则可以检测出一条带, 条带位置在250—500 bp。在鉴定结束后, 在每组中随机选取3尾雄鳊与3尾雌鳊(图1)进行所需样品采集, 使用50 mg/L MS-222麻醉, 擦干水, 随后置于冰上采集肝脏组织, 使用现配的生理盐水冲洗, 肝脏组织一部分使用Bouin's固定液固定用于HE染色和油红染色, 一部分液氮速冻后放入-80℃冰箱保存备用。

1.4 肝脏组织结构观察

将固定24h以上的实验鳊肝脏组织分为两部分。一部分酒精梯度脱水, 二甲苯透明, 石蜡包埋, 切片机连续切片, HE染色, 中性树胶封片。一部分油红染色, 油红染色参照Wei等^[24]方法, 切片用油红

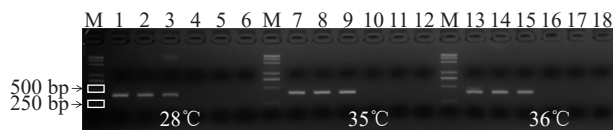


图1 三组鳊的遗传性别鉴定 PCR 电泳图

Fig. 1 Genetic sex identification of three groups of *Siniperca chuatsi* by PCR electrophoresis

1—3、7—9和13—15. 雄性; 4—6、10—12和16—18. 雌性; M. DNA Marker (DL 8000)

1—3, 7—9, and 13—15. male; 4—6, 10—12, and 16—18. female; M. DNA Marker (DL 8000)

溶液染色后,经60%异丙醇冲洗,再用苏木精复染。所得组织切片使用大屏幕全自动数字玻片扫描仪(Aperio VERSA 8,德国)扫描观察。

1.5 肝脏生化指标测定

肝脏中甘油三酯(TG)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和丙二醛(MDA)活性测定所需的检测试剂盒,均购自南京建成生物工程研究所,取0.1 g肝脏样品加入9倍体积的预冷生理盐水,在冰上研磨成组织匀浆,4℃下3000 r/min离心10min,取上清液备用,随后按照试剂盒说明书向96孔酶标板中添加相关试剂,使用酶标仪(Tecan,瑞士)测定其吸光值,根据标准曲线计算每个样品的TG、SOD、CAT和MDA含量,每个样品重复测定3次。

1.6 实时荧光定量PCR

采用TRIzol法提取实验鳊肝脏组织样本总RNA,使用Nanophotometer N50 (Implen,德国)测定RNA浓度与纯度,同时使用琼脂糖凝胶电泳检测RNA完整性。根据TransScript® First-Strand cDNA Synthesis Super Mix 试剂盒(北京全氏金生物技术股份有限公司)说明反转录合成CDNA, -20℃保存备用。根据NCBI数据库获得*hsp70*、*hsp90*、*ucp2*、*sod*、*cat*、*ins*、*pck1*、*g6pc1a.2*、*sreb1*、*scd*及*cpt1b*基因序列,以*rpl13a*为内参基因,通过NCBI数据库的Primer-BLAST程序设计引物(表1),委托武汉天一辉远生物科技有限公司合成引物。实时荧光定量PCR反应体系20 μL: 2×TransStart® Tip Green qPCR

Super Mix 10 μL, CDNA模板1 μL, 正反引物各1 μL, Nuclease-free water 7 μL。PCR反应程序为94℃预变性5min, 94℃ 10s, 60℃ 15s, 72℃ 15s, 进行40个循环。

1.7 数据处理

根据以下公式计算生长性能:

增重率(Weight gain rate, WGR, %)=(终末均重-初始均重)/初始均重×100

体长增长率(Length gain rate, LGR, %)=(终末均长-初始均长)/初始均长×100

特定生长率(Specific growth rate, SGR, %)=(ln终末均重-ln初始均重)/养殖天数×100

实验数据使用Excel 2021整理,采用平均值±标准差表示,使用SPSS 27.0进行单因素方差分析,Duncan's多重比较来确定组间差异的显著性, $P<0.05$ 即为差异显著;脂滴相对面积使用ImageJ进行定量;实时荧光定量PCR分析数据采用 $2^{-\Delta\Delta Ct}$ 法计算目的基因的相对表达量。使用GraphPad Prism 9.0.0制图。

2 结果

2.1 高温养殖下雌雄鳊的生长情况

如表2所示,实验初始,各组雌雄鳊的初始体长与体质量无显著差异($P>0.05$)。当水温在28℃时,雌鳊的WGR、LGR和SGR均显著高于雄鳊($P<0.05$),而当水温在35℃时,雌雄鳊的WGR和SGR相比28℃显著升高($P<0.05$),其性别二态性也发生显著转变,雄鳊的WGR和SGR均显著高于雌鳊($P<0.05$),在36℃养殖条件下,雌雄鳊的WGR较28℃和35℃显著降低($P<0.05$)。在3种养殖温度下,35℃时雌雄鳊的SGR最大,分别为(10.53±0.38)%和(11.18±0.20)%,两者具有显著差异($P<0.05$),雄鳊显著高于雌鳊。36℃时雌雄鳊SGR低于对照组雌雄鳊,分别为(9.05±0.38)%和(9.26±0.35)%,两者无显著差异($P>0.05$)。

2.2 高温养殖下雌雄鳊肝脏组织结构和脂肪含量的变化

HE染色结果(图2)显示,对照组雌雄鳊的肝组织细胞形状较规则,而且细胞核基本处于细胞中心,细胞结构无明显变形,少量细胞内分布有少量空泡;高温养殖组雌雄鳊肝脏组织出现不同形式、不同程度的病变。与对照组相比,35℃处理后雌雄鳊肝脏组织和细胞出现空泡化,细胞核偏位,存在肝淤血、水肿等一系列病理性变化;36℃处理后肝细胞空泡数量呈下降趋势,肝淤血与水肿等情况明显增多。雄鳊也出现类似症状。与HE染色结果相对应的油红染色结果(图3)显示,对照组雌雄鳊肝脏组

表1 实时荧光定量PCR扩增引物序列信息

Tab. 1 Real-time fluorescence quantitative PCR amplification primer sequence information

基因名称 Gene name	引物序列 Primer sequence (5'—3')	引物大小 Primer size (bp)
<i>rpl13a</i>	CACCCTATGACAAGAGGAAGC TGTGCCAGACGCCCAAG	100
<i>hsp70</i>	CGCTGAGACAAGAAAAGTACG CTTGGTTGTTTTGAATTTGTGTCC	106
<i>hsp90</i>	CGACTTAGAACGACTACCACACG CAGCCTGGAATGCAAAGGTCT	121
<i>ucp2</i>	CATCCGTTACAGAGGG GATACAAAGTGGCAAGGC	201
<i>sod</i>	ATGCTTTGCAGAGTCGGTCA GGCGCCATAGTCGTATGTCA	120
<i>cat</i>	CCCGATATGGTGTGGGACTT GAAGGTGTGAGAGCCGTAGC	126
<i>ins</i>	CGACGCCCTCTATCTGTTTG TCCACGATGCCTCGCTTCA	186
<i>pck1</i>	GTCGGCTGTCTCTACCACTCA CCTCTCTTGGCAATACGC3	190
<i>g6pc1a.2</i>	AATGGATGCCATGCAGGGTT CAAAGCGGGAAGAGATGAAAA	138
<i>sreb1</i>	GCCAGGGTGAAGGGGAGTAT CACAGCCAGTCACAGTAGCCAT	129
<i>scd</i>	CTTGCTTTGGTCCGCACTTT TGGTGAACCTGTGGTCTCG	183
<i>cpt1b</i>	TGGGCTCAGGCTCGGATTA TGAAGCAGGGACTTGGCGTA	161

表 2 不同养殖温度下雌雄翘嘴鲌生长性能比较

Tab. 2 Comparison of growth performance of male and female *Siniperca chuatsi* at different culture temperatures

指标Index	28℃		35℃		36℃	
	雌	雄	雌	雄	雌	雄
初体重IBW (g)	0.25±0.03	0.25±0.02	0.23±0.03	0.23±0.01	0.26±0.02	0.26±0.03
初体长IBL (cm)	2.43±0.21	2.48±0.15	2.54±0.10	2.49±0.07	2.59±0.17	2.51±0.15
末体重FBW (g)	96.91±3.55 ^c	75.13±2.50 ^d	126.82±24.97 ^b	187.38±25.06 ^a	60.38±16.16 ^d	67.92±15.18 ^d
末体长FBL (cm)	14.86±1.14 ^c	14.34±0.58 ^c	17.19±1.53 ^b	18.80±0.80 ^a	12.60±1.17 ^d	12.93±0.95 ^d
增重率WGR (%)	396.09±63.62 ^c	309.24±37.46 ^d	568.32±126.72 ^b	821.49±98.21 ^a	233.84±53.04 ^c	263.58±52.87 ^{de}
体长增长率LGR (%)	5.16±0.82 ^{bc}	4.81±0.43 ^{cd}	5.76±0.60 ^b	6.56±0.44 ^a	3.88±0.47 ^e	4.16±0.40 ^{de}
特定生长率SGR (%)	9.95±0.26 ^c	9.55±0.21 ^d	10.53±0.38 ^b	11.18±0.20 ^a	9.05±0.38 ^c	9.26±0.35 ^{de}

注: 表中数据为平均值±标准差(n=9); 同行数据相同小写字母和无字母表示两者之间没有显著差异(P>0.05), 不同小写字母表示差异显著(P<0.05)

Note: The data in the table are mean±standard deviation (n=9); The same lowercase letter and no letter in the same row indicate no significant difference (P>0.05), and different lowercase letters indicate significant differences (P<0.05)

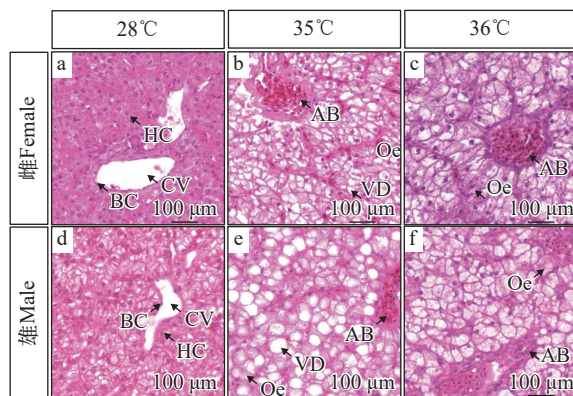


图 2 不同养殖温度下雌雄翘嘴鲌肝脏组织结构的观察

Fig. 2 Observations on the liver organization of male and female *Siniperca chuatsi* at different culture temperatures

CV. 中央静脉; HC. 肝细胞; BC. 血细胞; AB. 淤血; Oe. 水肿; VD. 空泡

CV. central vein; HC. hepatocyte; BC. blood cell; AB. bruise; Oe. oedema; VD. vacuole

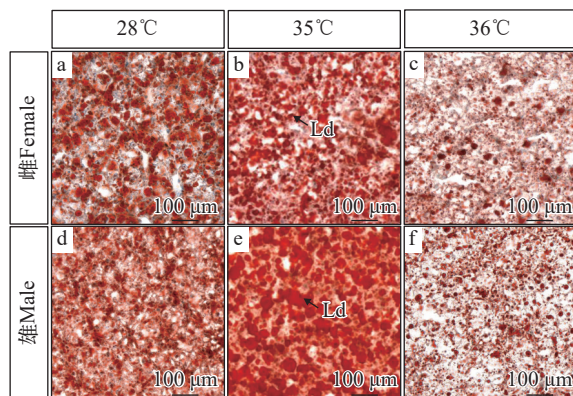


图 3 不同养殖温度下雌雄翘嘴鲌肝脏脂滴的影响

Fig. 3 Effects of lipid droplets in the liver of male and female *Siniperca chuatsi* at different culture temperatures

Ld. 脂滴lipid droplet

织脂滴呈褐红色, 分布较均匀; 高温养殖组雌雄翘嘴鲌肝脏脂滴的相对面积总体呈现出先上升后下降的变化趋势(图 4)。在35℃养殖条件下, 雄翘嘴鲌肝脏脂滴的相对面积较雌翘嘴鲌也显著升高(P<0.05), 对其肝脏TG含量测定, 发现变化趋势与脂滴的相对面积变化趋势一致, 在35℃条件下, 雄翘嘴鲌肝脏TG含量也显著高于雌翘嘴鲌(图 4; P<0.05)。为了探索35℃下雄性快速生长以及脂肪代谢性别二态性的机制, 又进一步检测28℃和35℃养殖条件下, 雌雄翘嘴鲌胰岛素原编码基因*ins*基因、糖异生基因*pck1*、*g6pcla.2*、脂肪合成关键基因*srebf1*、*scd*及脂肪β氧化基因*cpt1b*, 发现在35℃养殖条件下, 与雌翘嘴鲌相比, 雄翘嘴鲌脂肪合成基因表达降低, 但无显著性差异(P>0.05), 脂肪β氧化基因显著升高(P<0.05), 糖异生基因表达显著升高(P<0.05), 胰岛素原编码基因*ins*基因升高, 但无显著性差异(P>0.05; 图 5)。

2.3 高温养殖下雌雄翘嘴鲌肝脏抗氧化能力的变化趋势

如图 6所示, 与对照组相比, 高温养殖雌雄翘嘴鲌肝脏SOD、CAT和MDA含量发生了显著变化。雌翘嘴鲌SOD和CAT活力整体上呈现下降的趋势, MDA含量也相应显著升高(P<0.05), 在36℃时达到最大值, 雄翘嘴鲌CAT活力和MDA含量变化趋势与雌翘嘴鲌一致, 但SOD活力随着温度的升高而显著上升(P<0.05)。

2.4 高温养殖下雌雄翘嘴鲌肝脏抗氧化基因表达的变化趋势

高温养殖雌雄翘嘴鲌肝脏热休克蛋白、解偶联蛋白及抗氧化相关基因的相对表达量均有显著变化, 且与养殖的温度相关。由图 7可知, 高温养殖对雌翘嘴鲌肝脏*hsp70*、*hsp90*、*ucp2*、*sod*和*cat*基因的相对表达量有显著影响。与对照组雌翘嘴鲌相比, 随着温度的升高, *hsp70*和*hsp90*基因相对表达量先降低后升高, 在35℃时达最低值, 整体上呈显著下降趋势, 而

ucp2、*sod*及*cat*基因相对表达量呈现显著降低趋势($P<0.05$), 在36℃时达最低值; 图7显示, 不同温度环境中雄鳊肝脏*hsp70*、*hsp90*、*ucp2*和*cat*基因相对表达量整体上呈下降趋势, 而*sod*基因相对表达量却呈显著上升趋势($P<0.05$)。在35℃时, *hsp70*、*hsp90*、*ucp2*及*cat*基因相对表达量均显著低于对照组雄鳊($P<0.05$), *sod*基因相对表达量显著升高($P<0.05$), 达到最高值; 且随着温度升高, *hsp70*、*hsp90*、*ucp2*及*cat*进一步显著降低($P<0.05$), 在36℃时达最低值, *sod*基因相对表达量在36℃时显著降低, 但仍显著高于对照组雄鳊($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 高温养殖对鳊生长和代谢性别二态性的影响

温度变化对鱼类生长代谢有重要影响, 温度升高一方面引起鱼体自身代谢能耗增加; 另一方面也可以促进鱼体的摄入能转为生长能^[25]。研究发现, 驼背鲈(*Chromileptes altivelis*)幼鱼在水温为28℃时生长最好^[26]。将体重在(47.22—540.15) g的鳊养殖

在25—35℃的温度内, 其特定生长率随着温度的升高而增大, 表明25—35℃是鳊的最适温度范围^[22]。在本研究中, 当水温在35℃时, 雌雄鱼的WGR和SGR较28℃显著升高($P<0.05$), 而在36℃时, 雌雄鳊的WGR较28℃和35℃显著降低, 表明35℃是鳊保持正向生长的临界上限温度。

鳊具有明显的生长性别二态性, 多项研究表明雌鳊在性成熟前生长速度显著优于雄鳊^[8]。但在本研究中, 水温为28℃时, 雌鱼的WGR、LGR和SGR均显著高于雄鱼, 这符合上述结论, 而35℃时鳊生长性别二态性却发生显著转变, 雄鱼的WGR、LGR和SGR均显著高于雌鱼, 表明高温能引起雌雄鳊生长速度发生改变。将中华沙塘鳢(*Bostrychus sinensis*)分别在24.8℃和32.4℃的条件下养殖60d, 发现24.8℃养殖下雄鱼比雌鱼长得快, 而32.4℃养殖下雌鱼比雄鱼长得快^[27]。在极限高温下, 鱼体的生长与生存受到威胁, 长期高温引起鳊的代谢紊乱可能是引发自身死亡的原因^[24], 目前, 有关温度引起鳊死亡的机制还需要进一步探讨。

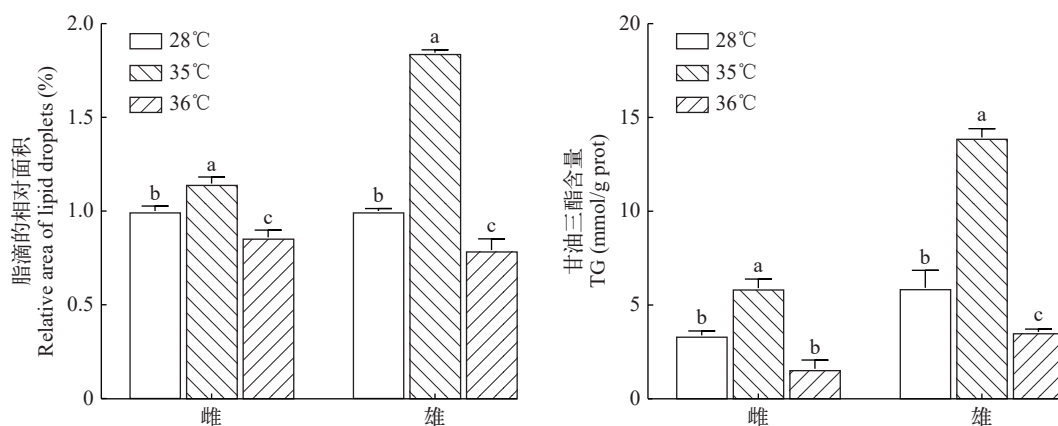


图4 不同养殖温度下雌雄鳊肝脏脂滴相对面积和TG含量的变化

Fig. 4 Changes in the relative area of liver lipid droplets and triglyceride content of male and female *Siniperca chuatsi* at different culture temperatures

图上不同字母(a、b、c)表示各处理组之间具有显著差异($P<0.05$); 下同

Different letters on the graph (a, b, c) indicate significant differences between treatment groups ($P<0.05$); The same applies below

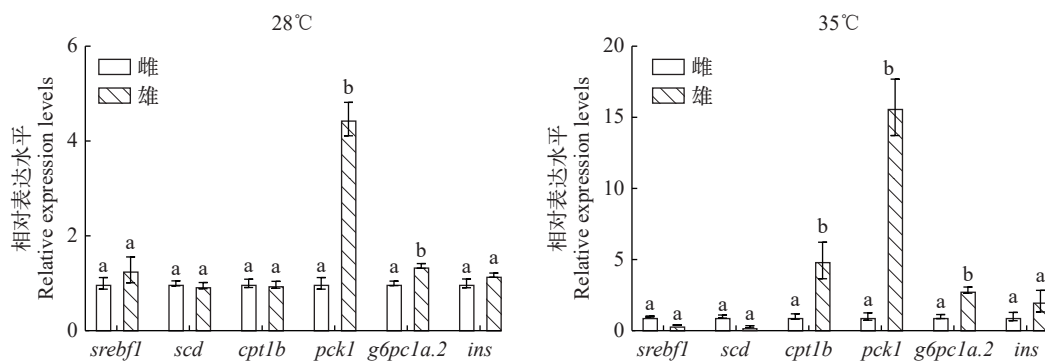


图5 28℃与35℃时雌雄鳊肝脏脂肪代谢相关基因表达水平

Fig. 5 Expression levels of hepatic fat metabolism-related genes in male and female *Siniperca chuatsi* at 28°C versus 35°C

3.2 高温养殖对雌雄鳊肝脏组织结构和脂肪代谢的影响

肝脏作为鱼类免疫防御的关键中枢,对鱼体规避高温应激损害起着极为关键的作用^[28]。研究发现,高温胁迫能够致使鱼类肝脏组织结构出现病变,如肝细胞空泡化等,使得肝脏的生理代谢功能遭受破坏,引发机体代谢紊乱,危害机体健康^[29]。小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)高温处理96h后肝脏出现水肿和细胞核溶解消失等现象^[30],表明高温会导致鱼类肝脏细胞受损。且持续高温胁迫还导致虹鳟肝脏脂肪变性、水泡变性、肝细胞坏死^[31]。在高温养殖下,雌雄鳊肝脏组织结构均发生明显病理损伤,如空泡化、肝淤血及细胞核偏位等现象,这与小黄鱼、虹鳟在高温胁迫下肝组织病变症状相

似。长时间高温胁迫还会导致小黄鱼^[30]、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)^[32]和花鲈(*Lateolabrax maculatus*)^[33]的肝细胞内充斥大量脂滴,易患脂肪肝等疾病。在本研究中,雌雄鳊肝脏脂滴相对面积和TG含量在35℃时均显著上升,与小黄鱼、团头鲂及花鲈等鱼类的情况一致,但在36℃时,脂滴相对面积和TG含量均显著减少,同时生长水平显著下降,这可能是36℃养殖条件下鳊的摄食量显著减少导致,也可能是36℃已超过鳊的正常生理代谢的极限水温,此时它为了维持生命体征通过加速脂质的吸收与利用,降低脂肪沉积,去抵抗外界温度变化所带来的胁迫压力,这一现象与黄颡鱼^[34]的研究结果类似。黄颡鱼在27℃的条件下,其TG含量增加,肝脏脂肪沉积,但在34℃条件下,其TG含量显

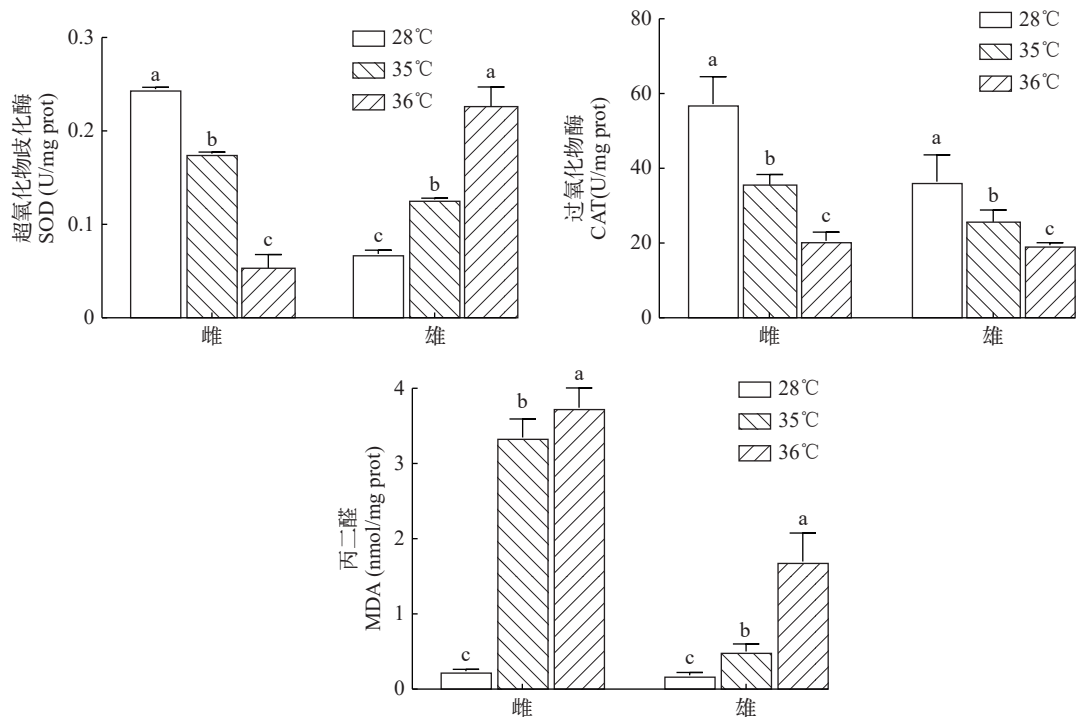


图6 不同养殖温度下雌雄鳊抗氧化指标的变化

Fig. 6 Changes in antioxidant indices of male and female *Siniperca chuatsi* at different culture temperatures

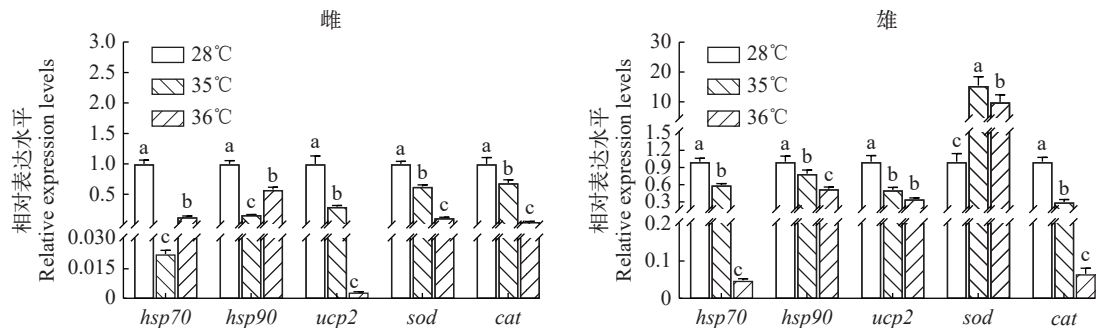


图7 不同养殖温度下雌雄鳊抗氧化相关基因的表达情况

Fig. 7 Expression of antioxidant-related genes in male and female *Siniperca chuatsi* at different culture temperatures

著减少, 脂肪沉积减少。本实验进一步检测28℃和35℃实验鳊肝脏脂肪代谢基因的表达, 发现28℃养殖的雌雄鳊除糖异生基因外, 胰岛素基因、脂肪分解基因均没有显著变化, 但35℃养殖的雄鳊与雌鳊相比, 雄鳊胰岛素基因、脂肪分解和糖异生基因的表达均升高, 这说明雄鳊快速生长与脂肪高效利用有关, 原因可能是雄鳊在养殖温度升高到35℃时, 其代谢率升高得更快, 从而使得生长性别二态性反转。鱼类为适应高温环境所带来的压力, 会改变能量代谢模式优先满足机体对能量的需求^[35]。

3.3 高温养殖对雌雄鳊肝脏抗氧化能力的影响

在正常新陈代谢下, 鱼体产生的ROS处于动态平衡, 外界环境因子刺激会使其大量产生并损伤机体^[36]。SOD和CAT属于生物体清除ROS的核心抗氧化酶^[19]。本研究结果显示, 在高温养殖60d后, 雌雄鳊CAT活性随温度的升高显著下降, 但二者SOD活性变化显著不同, 雌鳊SOD活性呈下降趋势, 而雄鳊SOD活性却随着温度的升高而显著升高, 雌鳊的结果与张晨光等^[37]的发现一致。而雄鳊的结果却与花鲈类似^[33], 这可能是在高温养殖后, 雌雄鳊SOD的温度敏感性不同或者是抗氧化系统的调节阈值存在差异所导致的。研究显示, 机体逆境胁迫生成过量ROS且未及时清除时, 会导致MDA累积, 造成生物膜流动性降低和细胞损伤, 也可侧面反映肝脏损伤程度^[37]。在本研究中, 雌雄鳊肝脏MDA含量随着温度的升高也显著升高, 且均在36℃时达到最高值, 但雌鳊比雄鳊增加了2倍多, MDA含量的显著上升与SOD和CAT活性的变化有关。高温养殖后雌雄鳊ROS浓度上升, 雄鳊及时提高SOD的含量以降低组织中的ROS含量, 缓解了机体脂质过氧化程度, 降低了MDA含量的积累, 尽量维持机体平衡; 而雌鳊SOD和CAT活性显著下降, 机体内ROS含量大量积累, 导致MDA含量急剧上升, 该结果在吉富罗非鱼^[38]和马口鱼(*Opsariichthys bidens*)^[36]上也有类似的发现。

3.4 高温养殖对雌雄鳊肝脏抗氧化相关基因表达的影响

SOD和CAT被视为重要应激指示物之一, 温度、低氧、盐度及微生物等外界环境因素均会显著影响机体sod和cat基因的表达量^[39]。黑鲷(*Arctiscus grubei*)热应激后发现肝脏sod、cat基因表达量均显著上升^[40]。在本研究中, 雌雄鳊高温养殖后cat基因表达量均显著下降, 但sod的基因表达量趋势相反, 雄鳊sod基因表达量显著上升。雌鳊机体在长期高温养殖后已产生免疫疲劳, 体内ROS浓度远高于抗氧化系统调节阈值, 导致sod和cat基因表达

量的显著降低; 而雄鳊体内抗氧化系统调节能力较强, 在体内ROS浓度增加时, 通过提高sod基因的表达量以降低ROS含量, 维持机体平衡, 但其在36℃时sod基因的表达量与35℃相比, 显著降低, 预示着如果胁迫强度增大, 雄鳊将会与雌鳊一样, 产生免疫疲劳, 也间接表明雄鳊比雌鳊抗高温应激能力强。此外, 肝脏中sod基因表达量与相应酶活性的变化趋势略微有些不同, 可能是因为蛋白翻译过程中受多种调控因素的影响^[41], 也可能与生物体内酶的类型有关^[42]。

热休克蛋白(HSPs)在多种生物体中均有发现, 能有效提升机体应对温度等恶劣环境的能力^[43]。当鱼类受到温度刺激时, 肝脏组织的HSPs的表达会增加, 但随着时间的延长, 会逐渐下降。雌雄鳊肝脏hsp70和hsp90基因表达量随着养殖温度的升高, 整体上呈现显著下降的趋势, 原因可能是长期高温养殖已超过机体自我保护范围, 引起hsp70和hsp90基因表达量急剧下调。已有研究报道, 高温会对水生动物肝脏线粒体造成损伤, 而线粒体功能障碍与ROS产生密切相关, 在小鼠中过表达ucp2可以改善线粒体功能障碍和氧化应激, 减少ROS的产生^[44]。在长期高温养殖后, 雌雄鳊ucp2基因表达量均显著下降, 表明雌雄鳊肝脏线粒体可能受损。

4 总结

本研究首次发现雌雄鳊在35℃高温养殖条件下会产生和自然条件下相反的生长性别二态性。随着养殖温度的增加, 雄鳊SOD活性与基因表达显著升高, 肝脏胰岛素基因、糖异生基因和脂肪分解基因表达升高, 表明35℃养殖可以更显著的增加雄性脂肪分解, 雄鳊可能比雌鳊更耐高温, 但其具体分子机制还不清楚。36℃是鳊可耐受的极限高温, 但是其生长水平显著降低, 肝脏脂肪含量显著降低, 说明合成代谢严重受到抑制, 故而在鳊养殖生产过程中, 特别是全雌鳊的养殖生产, 需要着重强化高温季节的养殖管控, 防止高水温造成鳊长期处于应激状态, 引起生长缓慢、代谢障碍和暴发性的病害发生。(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

- [1] Li S L, Han Z H, Wang X Y, et al. Research progress on the culture profile and feeding regulation mechanism of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(10): 1787-1795. [李松林, 韩志豪, 王小源, 等. 鳊养殖概况及摄食调控机制研究进展 [J]. *水产学报*, 2021, 45(10): 1787-1795.]
- [2] Bureau of Fisheries and Fishery Administration, Ministry

- of Agriculture and Rural Affairs, National General Station of Aquatic Technology Promotion, Chinese Fisheries Society. 2019 China Fishery Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2019: 25. [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. 2019中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2019: 25.]
- [3] Kokko H. Sex, size and gender roles: evolutionary studies of sexual size dimorphism [J]. *Bioscience*, 2008, **58**(5): 460-461.
- [4] Liang H W, Li Z, Luo X Z, *et al.* Genetic diversity analysis of five Nile tilapia lines based on microsatellite markers [J]. *Biodiversity Science*, 2009, **17**(1): 82-87. [梁宏伟, 李忠, 罗相忠, 等. 基于微卫星标记的5个尼罗罗非鱼品系的遗传多样性分析 [J]. *生物多样性*, 2009, **17**(1): 82-87.]
- [5] Liu S P. A study on the biology of pseudobagrus fulvidraco in Poyang Lake [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1997, **32**(4): 10-16. [刘世平. 鄱阳湖黄颡鱼生物学研究 [J]. *动物学杂志*, 1997, **32**(4): 10-16.]
- [6] Cai C, Yang P, Shi Y, *et al.* Transcriptomic and metabolomic analysis revealed potential mechanisms of growth and disease resistance dimorphism in male and female common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2025(158): 110150.
- [7] Yoneda M, Kurita Y, Kitagawa D, *et al.* Age validation and growth variability of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* off the Pacific coast of northern Japan [J]. *Fisheries Science*, 2007, **73**(3): 585-592.
- [8] Wang X Q, Li C W, Xie Z G, *et al.* Studies on the growth differences between males and females of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) [J]. *Freshwater Fisheries*, 2006(3): 34-37. [王晓清, 李传武, 谢中国, 等. 鳊雌雄生长差异的研究 [J]. *淡水渔业*, 2006(3): 34-37.]
- [9] Deng Z T. Effects of temperature changes on the growth performance of grass carp larvae [J]. *Northern Chinese Fisheries*, 2022, **41**(4): 26-28. [邓志霆. 温度变化对草鱼幼鱼生长性能的影响 [J]. *黑龙江水产*, 2022, **41**(4): 26-28.]
- [10] Qi P P, Chen M, Yu Y, *et al.* Effects of high temperature and cortisol on sex differentiation in *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2021, **45**(1): 106-117. [齐飘飘, 陈敏, 于跃, 等. 高温和皮质醇对黄颡鱼性别分化的影响 [J]. *水生生物学报*, 2021, **45**(1): 106-117.]
- [11] Sun L X, Teng J, Zhao Y, *et al.* Gonad transcriptome analysis of high-temperature-treated females and high-temperature-induced sex-reversed neomales in Nile tilapia [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2018, **19**(3): 689.
- [12] Patiño R, Davis K B, Schoore J E, *et al.* Sex differentiation of channel catfish gonads: normal development and effects of temperature [J]. *Journal of Experimental Zoology*, 1996, **276**(3): 209-218.
- [13] Zhu Z Y, Ma D M, Fan J J, *et al.* Progress of research on fish sex control technology [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, **47**(13): 4-7. [朱芷莹, 马冬梅, 樊佳佳, 等. 鱼类性别控制技术研究进展 [J]. *安徽农业科学*, 2019, **47**(13): 4-7.]
- [14] van Dorst R M, Gårdmark A, Kahilainen K K, *et al.* Ecosystem heating experiment reveals sex-specific growth responses in fish [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2023, **81**(1): 90-96.
- [15] Dong J, Zhang H, Wang Z, *et al.* High temperature exposure causes sexual dimorphism in immune responses against largemouth bass ranavirus (LMBV) in *Micropterus salmoides* [J]. *Aquaculture*, 2024(592): 741239.
- [16] Wu X Q, Chen X M, Wang G Q. Research progress on nutritional requirements, metabolism and regulation of glycolipids in *Perch*, *Channa* and *Siniperca chuatsi* [J]. *Feed Industry*, 2025, **46**(7): 110-117. [吴雪芹, 陈秀梅, 王桂芹. 鲈、鳊、鳊糖脂营养需求、代谢及调控的研究进展 [J]. *饲料工业*, 2025, **46**(7): 110-117.]
- [17] Quan J, Kang Y, Li L, *et al.* Proteome analysis of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) liver responses to chronic heat stress using DIA/SWATH [J]. *Journal of proteomics*, 2021(233): 104079.
- [18] Dalvi R S, Das T, Debnath D, *et al.* Metabolic and cellular stress responses of catfish, *Horabagrus brachysoma* (Günther) acclimated to increasing temperatures [J]. *Journal of Thermal Biology*, 2017(65): 32-40.
- [19] Huang C Y, Gao S K, Zhang J R, *et al.* Effects of acute temperature stress on immunity indexes and related enzyme activities of *Apistogramma bitaeniata* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2022, **52**(3): 59-65. [黄成裕, 高世科, 张家锐, 等. 急性温度胁迫对双带隐带丽鱼免疫指标及相关酶活性的影响 [J]. *淡水渔业*, 2022, **52**(3): 59-65.]
- [20] Liu S Y. Effects of environmental stress on free radical levels and antioxidant enzyme activities in Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006. [刘松岩. 环境胁迫对中华鲟体内自由基水平和抗氧化酶活力的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.]
- [21] Cadenas S. Mitochondrial uncoupling, ROS generation and cardioprotection [J]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 2018, **1859**(9): 940-950.
- [22] Liu J S, Cui Y B, Liu J K. Studies on the optimum temperature of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) and Snakehead (*Channa argus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002(5): 433-437. [刘家寿, 崔奕波, 刘建康. 鳊和乌鳢最适温度的研究 [J]. *水生生物学报*, 2002(5): 433-437.]
- [23] Zhou Y, Tong J G, Yu X M, *et al.* A method and application for the development of a sex-specific marker for *Siniperca chuatsi* [P]. Hubei: CN112359104A, 2021-02-12. [周颖, 童金苟, 俞小牧, 等. 一种鳊性别特异标记的

- 开发方法与应用 [P]. 湖北省: CN112359104A, 2021-02-12.]
- [24] Wei C C, Wu K, Gao Y, *et al.* Magnesium reduces hepatic lipid accumulation in yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) and modulates lipogenesis and lipolysis via PPARA, JAK-STAT, and AMPK pathways in hepatocytes [J]. *The Journal of nutrition*, 2017, **147**(6): 1070-1078.
- [25] Van Weerd J H, Komen J. The effects of chronic stress on growth in fish: a critical appraisal[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 1998, **120**(1): 107-112.
- [26] Zhang S F, Dong H B, Wang Q, *et al.* Effects of temperature on growth, oxygen consumption and thermal tolerance of humpback grouper (*Chromileptes altivelis*) [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2021, **36**(1): 74-79. [张善发, 董宏标, 王茜, 等. 温度对驼背鲈幼鱼生长、耗氧和热耐受性的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2021, **36**(1): 74-79.]
- [27] Geng L H. Effects of high temperature and estradiol on the sex differentiation of the Chinese sandpiper (*Odontobutis sinensis*) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2023. [耿龙慧. 高温和雌二醇对中华沙塘鳢性别分化的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2023.]
- [28] Itoi S, Ineno T, Kinoshita S, *et al.* Analysis on serum proteins from rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* exposed to high temperature [J]. *Fisheries science*, 2001, **67**(1): 191-193.
- [29] Guan B, Wen H S, Liu Q, *et al.* Effects of acute temperature stress on liver metabolic enzyme activities and growth-related gene expression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2014, **29**(6): 566-571. [管标, 温海深, 刘群, 等. 急性温度胁迫对虹鳟肝脏代谢酶活性及生长相关基因表达的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2014, **29**(6): 566-571.]
- [30] He Y, Liu F, Zhang T L, *et al.* Effects of high temperature stress on liver tissue structure and cell apoptosis in little yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2024, **36**(1): 58-66. [何雨, 刘峰, 张天乐, 等. 高温胁迫对小黄鱼肝脏组织结构和细胞凋亡的影响 [J]. 浙江农业学报, 2024, **36**(1): 58-66.]
- [31] Zhou Y J, Liu Z, Xia B P, *et al.* Effects of continuous heat stress on the tissue morphology and structure of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) liver [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2017, **52**(6): 1-5. [周彦静, 刘哲, 夏斌鹏, 等. 持续热应激对虹鳟肝脏组织形态结构的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2017, **52**(6): 1-5.]
- [32] Liu B, Xu P, Brown P B, *et al.* The effect of hyperthermia on liver histology, oxidative stress and disease resistance of the Wuchang bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2016(52): 317-324.
- [33] Yang X, Wang L, Lu K, *et al.* High temperature changes the structure and function of spotted seabass (*Lateolabrax maculatus*) tissues and causes ER stress and mitochondrial homeostasis imbalance in liver [J]. *Aquaculture*, 2025(599): 742107.
- [34] Qiang J, Tao Y F, He J, *et al.* Influences of dietary lipid and temperature on growth, fat deposition and lipoprotein lipase expression in darkbarbel catfish (*Pelteobagrus vachellii*) [J]. *Journal of Thermal Biology*, 2017(69): 191-198.
- [35] De Souza M R D P, Herrerias T, Zaleski T, *et al.* Heat stress in the heart and muscle of the Antarctic fishes *Notothenia rossii* and *Notothenia coriiceps*: Carbohydrate metabolism and antioxidant defence [J]. *Biochimie*, 2018(146): 43-55.
- [36] Zhang K, Wang W Y, Zhao L Y, *et al.* Effects of temperature on oxygen consumption rate, asphyxiation point and antioxidant capacity of juvenile horse chestnut (*Opsariichthys bidens*) [J]. *Fisheries Science*, 2023, **42**(1): 89-95. [张凯, 王伟瑜, 赵丽悦, 等. 温度对马口鱼幼鱼耗氧率、窒息点及抗氧化能力的影响 [J]. 水产科学, 2023, **42**(1): 89-95.]
- [37] Zhang C G, Ding W D, Cao Z M, *et al.* Effects of acute high temperature stress on the activities of antioxidant enzymes and digestive enzymes and the expression of heat shock protein genes in juvenile mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2021, **52**(3): 815-826. [张晨光, 丁炜东, 曹哲明, 等. 急性高温胁迫对翘嘴鲌幼鱼抗氧化酶和消化酶活性及热休克蛋白基因表达的影响 [J]. 南方农业学报, 2021, **52**(3): 815-826.]
- [38] Qiang J, Yang H, Wang F, *et al.* Effects of acute temperature stress on biochemical indexes and hepatic HSP70 mRNA expression in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) of Jifu strain [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2012, **43**(5): 943-953. [强俊, 杨弘, 王辉, 等. 急性温度应激对吉富品系尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)幼鱼生化指标和肝脏HSP70 mRNA表达的影响 [J]. 海洋与湖沼, 2012, **43**(5): 943-953.]
- [39] Zelko I N, Mariani T J, Folz R J. Superoxide dismutase multigene family: a comparison of the CuZn-SOD (SOD1), Mn-SOD (SOD2), and EC-SOD (SOD3) gene structures, evolution, and expression [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2002, **33**(3): 337-349.
- [40] An K W, Kim N N, Shin H S, *et al.* Profiles of antioxidant gene expression and physiological changes by thermal and hypoosmotic stresses in black porgy (*Acanthopagrus schlegelii*) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2010, **156**(2): 262-268.
- [41] Sun X H, Bing X W, Ding W D, *et al.* Effects of high-temperature stress on serum biochemical indexes and hepatic *sod* gene and heat shock protein gene expression

- in juvenile mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2022, **53**(12): 3539-3547. [孙旋辉, 邴旭文, 丁炜东, 等. 高温应激对鳊幼鱼血清生化指标及肝脏*sod*基因和热休克蛋白基因表达的影响 [J]. *南方农业学报*, 2022, **53**(12): 3539-3547.]
- [42] Feng C J, Zhang Y, Zhang Y Q, *et al.* Effects of acute high temperature stress on serum biochemical indexes, digestive enzymes, antioxidant enzymes activities and their gene expressions of the Amur grayling (*Arcticus grubei*) [J]. *Freshwater Fisheries*, 2023, **53**(6): 37-45. [丰超杰, 张颖, 张永泉, 等. 急性高温胁迫对黑龙江茴鱼血清生化指标、消化酶、抗氧化酶活性及其基因表达的影响 [J]. *淡水渔业*, 2023, **53**(6): 37-45.]
- [43] Basu N, Todgham A E, Ackerman P A, *et al.* Heat shock protein genes and their functional significance in fish [J]. *Gene*, 2002, **295**(2): 173-183.
- [44] Ding Y, Zheng Y, Huang J, *et al.* UCP2 ameliorates mitochondrial dysfunction, inflammation, and oxidative stress in lipopolysaccharide-induced acute kidney injury [J]. *International Immunopharmacology*, 2019(71): 336-349.

WATER TEMPERATURE ON GROWTH AND LIPID METABOLISM IN CHINESE MANDARIN FISH

CHEN Xing^{1,2}, LOU Qi-Yong³, ZHAI Gang³, WANG Zhong-Bo^{1,2}, CHEN Gang¹, WEI Hui-Jie¹, YIN Zhan³, GAO Yin-Ai¹, SHEN Zhi-Gang², TONG Jin-Gou³ and YANG Kai¹

(1. Wuhan Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430072, China; 2. School of Aquatic Sciences, College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430072, China; 3. Institute of Aquatic Biology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

Abstract: In order to analyze the differences in growth and metabolism of *Siniperca chuatsi* under different culture temperatures, the present experiment was conducted to investigate the effects of growth, liver fat metabolism, and oxidative stress in male and female *S. chuatsi* at different temperatures (28°C, 35°C, and 36°C). The results showed that female *S. chuatsi* grew faster than that of male at 28°C; at 35°C, the growth of both male and female *S. chuatsi* was significantly higher than that of 28°C, with males growing faster than females, indicating a sex-dependent growth shift under high temperature; the growth was seriously inhibited at 36°C, identifying this as the critical temperature for normal survival. Hepatic lipid droplet number and triglyceride (TG) content in both male and female showed an overall trend of first increasing and then decreasing with temperature, while male *S. chuatsi* upregulated hepatic genes related to insulin, gluconeogenesis at 35°C. the SOD activities of male and female *Siniperca chuatsi* were reversed, with female SOD decreased, whereas male SOD increased significantly; *hsp70*, *hsp90*, *ucp2*, *sod* and *cat* genes in the liver of female *S. chuatsi* upregulated at 35°C, while male livers showed consistent expression with females except for significantly elevated *sod*. The present study demonstrates that the growth of *S. chuatsi* correlates positively with the fat utilization, and the metabolic rate growth of male was significantly higher than that of female under high temperature; the long-term high-temperature culture induces sex-reversed growth patterns, highlighting the potential of all-male populations under high-temperature culture conditions.

Key words: Sexual dimorphism; High-temperature environment; Growth differences; Lipid metabolism; Anti-oxidization; *Siniperca chuatsi*