

DOI: 10.12264/JFSC2023-0111

光强和光谱对鳊摄食、生长及相关基因表达的影响

蓝洁^{1,2}, 梁旭方^{1,2}

1. 华中农业大学水产学院, 华中农业大学鳊鱼研究中心, 湖北 武汉 430070;
2. 长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心, 湖北 武汉 430070

摘要: 为了探讨光强和光谱对鳊(*Siniperca chuatsi*)行为、摄食和生长性能的影响, 对不同光强和光谱条件下养殖 8 周的鳊的摄食、生长进行观测, 并检测相关基因的表达情况。对鳊摄食的影响研究发现, 光强在 10、25 和 50 lx 下时鳊的摄食比例较高, 显著高于 5、300 和 500 lx 组($P<0.05$); 不同光谱下, 在绿光条件下摄食比例最高($P<0.05$)。光强和光谱条件对鳊生长的影响结果显示, 10 lx 的光强可以极大地改善鳊的生长, 该组中增重率、特定生长率都显著高于其他组($P<0.05$), 同时饲料系数显著降低($P<0.05$); 200 和 500 lx 条件下生长性能提升不显著($P>0.05$)。另外, 10 lx 光强下生长相关基因 *igf1* 在肌肉中的表达量显著高于其他组, 同时促食欲基因 *npv* 和 *agrp* 显著上调($P<0.05$), 抑食欲基因 *cart* 和 *pomc* 下调; 而在 200 和 500 lx 条件下, *npv* 和 *agrp* 表达水平与对照组相比不显著($P>0.05$), 500 lx 条件下 *pomc* 表达显著高于 10 和 200 lx 组($P<0.05$)。绿光组的增重率和特定生长率显著升高($P<0.05$), 观察到生长性能的改善。在红光条件下观察到了相反的结果, 增重率和特定生长率显著低于其他组($P<0.05$), 肝体比显著大于其他各组($P<0.05$)。此外, 红光和绿光组 *igf1* 在肝脏中的表达量显著高于蓝光组($P<0.05$)。促食欲基因 *npv* 表达在绿光组中显著升高($P<0.05$), *agrp* 在红光、绿光和蓝光组中的表达量均显著低于白光组($P<0.05$)。综上所述, 鳊更加偏好低光强和短波长的光, 并且在这种光照条件下摄食行为更加活跃且具有较好的生长性能。

关键词: 鳊; 光强; 光谱; 摄食; 生长; 食欲

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005–8737–(2023)08–0975–14

鱼类生长所需的最佳光强具有物种特异性, 在不同的发育阶段对应的最适光强也很可能不同^[1-2]。与此同时, 过高或过低的光强都可能导致鱼类应激, 从而影响它们的行为和生长性能^[3-4]。不同生态位的鱼类对光的反应不同^[5]。例如, Marchesan 等^[6]研究了 4 种硬骨鱼类在不同光强下的聚集率和趋光性, 发现对光照条件变化的反应通常是物种特异性的: 欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax*)受到光照强度变化的影响, 特别是当光强逐渐降低时会导致鱼群的聚集率更高, 而当光强逐渐增加时, 个体之间的距离保持不变; 当光强逐渐降低时, 对鲮(*Mugil cephalus*)的行为影响尤

其明显, 实验鱼的趋光性和聚集率均随着光强的降低而增加; 金头鲷(*Sparus auratus*)聚集率的逐渐增加与光强的升高成正比; 而细条石颌鲷(*Lithognathus mormyrus*)几乎没有受到光强度变化的影响。光强也可能影响鱼类的摄食能力, 因为许多鱼类依靠视觉进行捕食, 需要一定阈值光强的光才能顺利进食^[7-8]。相比之下, 如果鱼受到的光刺激不足, 就会对生长、食物摄入和消化产生负面影响^[9]。例如斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)^[4]、黄褐阿波鱼(*Apolectichthys xanthurus*)^[10]。在这方面, 一些中枢和外周食欲调节因子受到进食的影响, 表现为它们的表达随着进食周期的波

收稿日期: 2023-05-7; 修订日期: 2023-08-03.

基金项目: 湖北省重点研发计划项目(2020BBA035); 国家自然科学基金面上项目(31972809).

作者简介: 蓝洁(1998–), 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类营养与生理. E-mail: 631885378@qq.com

通信作者: 梁旭方, 博士, 教授, 研究方向为鱼类摄食与饲料利用功能基因组学. E-mail: xufang_liang@hotmail.com

动^[11]。此外,据报道,光照环境会改变鱼类中食欲基因的转录水平,例如 *npy* 和 *pomc*^[12-14]。尽管光强是鱼类养殖过程中的一个关键环境因素,并对鱼类的生长、发育和存活具有重要意义,然而在鱼类中的影响研究仍然缺乏,对光信号是如何被感知和转化为刺激生长的内部信号更是知之甚少^[15-16]。目前为止,有关鳊(*Siniperca chuatsi*)光需求方面的信息更是稀缺。对鳊趋光性研究的结果显示,当体长达到 80~105 mm 时,鳊的趋光性明显减弱,更偏好于弱光,同时适宜的光色也转变为绿光^[17]。已有研究表明,视觉是鳊的主要感觉器官,在该物种的捕食活动中起着重要作用,环境因素(例如光照强度)会影响鳊对猎物的探测^[18-19]。这可能是由于鱼类的摄食差异与水生环境变化之间存在复杂的关系。

除了光强,光谱已被证明会影响鱼的食物摄入和生长。研究发现,在白色背景下饲养可以增强条斑星鲈(*Verasper moseri*)的摄食量并增加体重^[20]。在对虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的研究中发现,中波长光(黄光或绿光)为生长提供了最有利的条件^[21]。在蓝光和绿光下饲养的黑线鳟提高了生长性能和存活率^[22]。在红光下饲养珍珠毛足鲈(*Trichopodus leerii*)会降低终末体重、增重率和特定生长率^[23]。Nasir 等^[24]发现,在红光下养殖鲤(*Cyprinus carpio*)可提高饲料效率、生长性能和存活率。在实验室条件下,蓝光改善了欧洲鲈幼鱼的饲料利用率和生长性能^[25]。此外,在红光下饲养会降低塞内加尔鲷(*Solea senegalensis*)幼鱼的生长速度^[26]。鱼类由于栖息地的不同而可能使它们对于光谱的反应不同,先前的研究发现,在蓝光下养殖虹鳟和在红光下饲养金头鲷会对生长带来负面影响^[27]。此外,光谱也会对鱼类激素的分泌产生影响。通过分析蓝色、绿色和红色养殖条件下松果体的褪黑激素水平,评估了大西洋鲑(*Salmo salar*)、欧洲鲈和大西洋鳕(*Gadus morhua*)的光谱灵敏度,发现红光在抑制大西洋鲑松果体产生褪黑激素方面的作用小于蓝光和绿光,而对大西洋鳕和欧洲鲈松果体产生褪黑激素的影响则没有观察到光谱效应^[28]。在鲭(*Scomber japonicus*)中,作为应激反应指标的血浆皮质醇水平通过绿光照

射后显著降低^[29]。除此之外,光谱还会对鱼类行为有影响,目前已经进行了一系列相关研究。鲮对短波长的单色光反应强烈,而细条石颌鲷对不同波长的光没有明显的趋光性^[6]。据报道,沙丁鱼(*Sardina pilchardus*)可以区分红色、绿色和蓝色,但对红光有负面反应^[30]。更多的研究表明,鱼类趋光性的强度与它们的生活习性密切相关。栖息在上层水域的鱼类喜欢明亮的光线,底栖鱼类喜欢昏暗的光线^[31]。这些研究证实,对光的反应可能因鱼的类型和习性而异^[32]。据报道,光谱会改变鱼类中神经肽的转录水平,例如 NPY 和 POMC^[13,33]。这些发现意味着鱼类可以在其栖息地中选择使用最佳的光谱来促进生长,并且光感受器中的视蛋白参与这种选择的光感知环节^[34]。尽管目前许多报道已经强调了光谱在内分泌调节鱼类生长性能方面的重要性,然而,光谱、视觉系统、生长性能和内分泌功能之间的关系尚未得到充分研究。

鳊(*Siniperca chuatsi*)是著名的高价值鱼类之一,体型大,生长迅速,肉质鲜美,具有巨大的水产养殖潜力^[35]。许多鱼类都依靠光的自然波动作为线索来同步各种行为和生理过程^[36],例如在各种光因子影响下增加摄食和将其转化为生长,因此光环境有很大的潜力影响鱼类的生长和摄食^[1]。目前对不同光环境对鳊长期养殖的影响效果尚缺乏研究。因此,为使该物种的养殖具有经济价值,急需获取有关最佳饲养条件和方法的研究信息,特别是关于环境因子对食物摄入和生长的影响。

1 材料与方法

1.1 实验鱼养殖

实验鱼来源于华中农业大学农业部鳊鱼育种创新基地,并在华中农业大学农业部鳊鱼育种创新基地经过统一饲养或驯化。

1.2 实验方法

1.2.1 光强和光谱对鳊摄食的影响 为避免环境光和环境噪声的影响,实验在除实验光源及声源外,无其他环境噪音和光源的暗室中进行,实验时间安排在 19:00 至次日 02:00,实验所用玻璃缸

容积为 15 L。饲养期间水温为 $(24.0\pm 1.0)^\circ\text{C}$, 溶解氧 $7.0\sim 7.8\text{ mg/L}$, pH $7.2\sim 8.4$, 各项水质参数均在正常范围内。光强试验使用 8 种光照强度(5、10、25、50、100、200、300、500 lx)照射, 而光谱实验采用 3 种光进行照射, 波长分别为蓝光($450\pm 10\text{ nm}$)、绿光($530\pm 10\text{ nm}$)和红光($640\pm 10\text{ nm}$), 光强设为 10 lx。光照强度以玻璃缸中心位置的光照强度为准, 采用 Smart Sensor AS813 照度计(希玛, 东莞, 广东)测定。摄食行为实验: 在实验开始之前, 将鱼转移至玻璃缸中禁食 24 h, 每次实验选择 30 尾生长状况一致的鳊[体重 $(59\pm 2)\text{ g}$, 体长 $(13\pm 1)\text{ cm}$]进行 20 min 暗适应, 适应 20 min 后打开光源, 鳊从暗适应状态过渡到明适应状态, 进行摄食行为情况记录, 测试持续 10 min。为了统计摄食量, 在测试开始光照 5 min 后(以减少光环境突然改变对鱼眼造成不适的影响), 向每个水族缸中倒入 50 尾麦鲮(*Cirrhinus mrigala*), 统计鳊在 10 min 后摄食的比例(摄食鳊数/实验鳊总数)。每次实验重复测试 3 次, 每次测试更换不同的实验鳊, 避免鳊对光照产生适应性行为, 即测试过的实验鳊放回暂养池不再使用, 实验共进行 2 d。摄食比例计算公式: 摄食比例=摄食鳊数/实验鳊总数 $\times 100\%$ 。此后再进行为期 8 周的生长实验, 记录初始体重及终末体重。实验过程中, 每次投喂 30 min 后, 收集残饵并干燥, 记录投喂量、残饵量, 用于摄食率的计算。

摄食率(feeding rate, FR, %/d)=总摄食量/[初始体重+终末体重]/2]/养殖天数 $\times 100$

1.2.2 光强和光谱对鳊生长的影响 选取 144 尾健康且大小均一的鳊幼鱼($56\pm 3\text{ g}$), 光强实验采用 3 种光强条件进行养殖, 分别为 10、200 和 500 lx, 光周期为 14 L : 10 D (5:30 至 19:30), 黑暗组作为对照, 每种光强设置 3 个平行; 光谱实验采用 3 种光谱条件进行养殖, 分别为蓝光($450\pm 10\text{ nm}$)、绿光($530\pm 10\text{ nm}$)和红光($640\pm 10\text{ nm}$), 光强设为 10 lx, 光周期为 14 L : 10 D (5:30 至 19:30), 白光(全光谱)条件作为对照, 每种光强设置 3 个平行。养殖桶采用圆形桶(直径为 80 cm, 水深为 70 cm), 水体约 300 L, 每个养殖桶饲养 12 尾鳊幼鱼。每天 08:00 采用 Smart Sensor AS813 照度计(希

玛, 东莞, 广东)校准光强, 光强以水面中心位置上方 5 cm 的测定值为准, 调节投光灯的高度以保证各个实验组光强。所有养殖桶采用遮光布遮挡自然光, 以防止光污染。

为期 8 周的生长实验, 每天饱食投喂两次, 分别在 08:00 和 17:00, 投喂量以饱食为准, 投饵时观察鱼群摄食不活跃即停止投喂, 饲料购自武汉高龙饲料有限公司(中国)。

取样前将实验鳊饥饿 24 h, 使用 MS-222 麻醉(50 mg/L), 测量体重、体长、内脏团质量和肝脏重量。在实验期间, 每天记录投喂量和剩料量, 用于计算摄食率(feeding rate, FR)和饲料系数(feed conversion rate, FCR)。试验鱼的增重率、特定生长率、饲料系数、肝体比、脏体比和存活率的计算如下:

增重率(weight gain rate, WG, %)=(末重-初重)/初重 $\times 100$

特定生长率(specific growth rate, SGR, %/d)= $100\times(\ln\text{ 末重}-\ln\text{ 初重})/\text{养殖天数}$

饲料系数(feed conversion rate, FCR, %)=(终末体重-初始体重)/总摄食量 $\times 100$

肝体比(hepatosomatic index, HSI, %)=肝重/体重 $\times 100$

脏体比(viscerosomatic index, VSI, %)=内脏重/体重 $\times 100$

1.2.3 光强和光谱对鳊摄食、生长相关基因表达的影响 生长实验结束后, 各组随机选取 6 尾鳊, 用 MS-222 (雷德蒙德市, 华盛顿州, 美国)(200 mg/L)深度麻醉后立即置于冰盘上解剖取脑组织样品, 然后将鳊脑、眼睛、肝脏和肌肉组织样品迅速在液氮中冷冻并储存在 -80°C 冰箱中用于测定各组织中相关基因相对表达量。

鳊各组织的总 RNA 采用 RNA Trizol Reagent 试剂盒(TaKaRa, Tokyo, Japan)进行提取, 按照说明书的步骤进行提取操作。在 BioTek Synergy 2 luminometer (BioTek, Winooski, VT, USA)仪器上测定总 RNA 的纯度和含量, 确保 RNA 的 A_{260}/A_{280} 值大于 2.0, 并使用 1%的琼脂糖凝胶(Biowest Agarose, Madrid, Spain)进行电泳检测以确保总 RNA 的完整性。根据说明书的步骤, 采用 Revert

Aid™ Reverse Transcriptase (TaKaRa, Tokyo, Japan)对总 RNA 进行反转录程序,从 1 μg 总 RNA 获得终体积为 20 μL 的 cDNA,反转录 PCR 程序为 50 °C, 15 min, 80 °C, 5 s。

利用实时荧光定量 PCR 技术对摄食和生长相关基因的 mRNA 表达水平进行检测,根据基因序列设计的引物如表 1 所示。实时荧光定量 PCR 在定量热循环仪(MyiQ™ 2 Two-Color Real-Time PCR Detection System, BIO-RAD, Hercules, CA, USA)上进行检测。鳊 *rpl13a* 基因作为内参基因,可用以标准化模板量。每个 cDNA 样品进行 3 个技术重复。按照 AceQ qPCR SYBR Green Master Mix (Vazyme Biotech Co., Piscataway, NJ, USA)的说明书,总体积 20 μL 的反应体系如下: 10 μL AceQ qPCR SYBR Green Master Mix, 1 μL cDNA, 上下游引物(由上海生工合成)各 0.4 μL (10 μmol/L), 和 8.2 μL ddH₂O。PCR 反应循环参数为: 95 °C 预变性 3 min; 然后按如下程序进行 40 个循环,即 95 °C

变性 10 s, 58 °C (根据不同引物的退火温度)退火 30 s; 绘制熔解曲线(从 65 °C 以 0.5 °C/s 速率逐渐升到 95 °C, 每隔 6 s 采集一次数据信号)。采用优化的 $2^{-\Delta\Delta C_t}$ 法,以 *rpl13a* 基因的定量表达水平为内参进行分析。通过 PCR 产物测序和熔解曲线确定引物具有较好的特异性。采用 AceQ qPCR SYBR Green Master Mix (Vazyme Biotech Co., Piscataway, NJ, USA)说明书的步骤测定引物扩增效率,区间在 98%~105%。基因表达水平相对于内参基因表达水平,使用 $2^{-\Delta\Delta C_t}$ 方法计算。每个 cDNA 样本进行了 3 次重复扩增。数据使用 CFX Manager™ software (Version 1.0)进行计算。每个样本的 ΔC_t 值减去校准值为 $\Delta\Delta C_t$, 基因表达水平使用 $2^{-\Delta\Delta C_t}$ 公式计算,值以相对于设定的对照组的倍数来表示。基因表达以相对于校准值的倍数表示,校准值的单位为 1 个任意单位。

1.3 统计分析

本实验中所有数据采用均值±标准误($\bar{x} \pm SE$)的方式表示。所有数据分析均采用 IBM SPSS Statistics 25 软件进行分析。采用单样本 T 检验(one sample t-test)剔除偏离总体均值的样本数据,两组数据之间的比较采用独立样本 T 检验(independent t-test), $P < 0.05$ 为差异显著。多组数据之间的比较采用单因素方差分析(ANOVA), 差异显著则使用 Duncan's 多重比较, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同光强、光谱对鳊摄食的影响分析

为了探究不同光强、光谱对于鳊摄食的影响,笔者测试了 8 种光强下鳊摄食比例如图 1 所示。结果表明,摄食比例最高的 3 组依次为 10、50 和 25 lx, 10 lx 组的摄食比例最高,且显著大于 5、100、300 和 500 lx 组($P < 0.05$)。笔者测试了 3 种光谱下鳊的摄食比例。如图 1 所示,摄食比例最高的为绿光组,且显著大于红光组($P < 0.05$),蓝光组与红光和绿光组摄食比例无显著差异($P > 0.05$)。

2.2 不同光强、光谱对鳊生长的影响分析

为了进一步探究不同光强条件下鳊生长的变化,笔者以黑暗处理作为对照组,10、200 和 500 lx 3 种光强条件为实验组,进行了 8 周的养殖实验,

表 1 实时荧光定量 PCR 的引物序列
Tab. 1 Nucleotide sequences of the primers for real-time PCR

基因 gene name	引物 primer	序列(5'-3') sequence (5'-3')	退火 温度/°C annealing temp
<i>rpl13a</i>	<i>rpl13a-F</i> <i>rpl13a-R</i>	CACCCTATGACAAGAGGAAGC TGTGCCAGACGCCCAAG	58
<i>npv</i>	<i>npv-F</i> <i>npv-R</i>	GTTGAAGGAAAGCACAGACA GCTCATAGAGGTAAAAAGGGG	58
<i>agrp</i>	<i>agrp-F</i> <i>agrp-R</i>	GAGCCAAGCGAAGACCAGA GCAGCACGGCAAATGAGAG	60
<i>pomc</i>	<i>pomc-F</i> <i>pomc-R</i>	GTGTATCCTCGTTACTGC GCGACGCTCCTATTCAAT	58
<i>cart</i>	<i>cart-F</i> <i>cart-R</i>	CGAACCTAACCAGTGAGAAG GGGACAGTCGCACATCTT	56
<i>gh</i>	<i>gh-F</i> <i>gh-R</i>	TGGTGGCAGGCCATTAAGAG CCGTGGACGTGTACTGACAA	60
<i>igf1</i>	<i>igf1-F</i> <i>igf1-R</i>	TGACTCCGACGGCAACAG GCAGCACTCGTCCACAAT	59
<i>rh1</i>	<i>rh1-F</i> <i>rh1-R</i>	GGAGGATTACCACAACGA CAGGTAAAGACCAAAACCCATG	58
<i>rh2</i>	<i>rh2-F</i> <i>rh2-R</i>	GCCCCAGGCTACAACAAT AGGACCATCAAGATGCACATA	58
<i>sws1</i>	<i>sws1-F</i> <i>sws1-R</i>	TCAGTCAGGTGTTGTGCGCC TGCCGAACCTAAAGGCTCCA	57
<i>sws2</i>	<i>sws2-F</i> <i>sws2-R</i>	TCTGCTTTGCTGTTCCCC AGGCTGCCCACGATTGT	58
<i>lws</i>	<i>lws-F</i> <i>lws-R</i>	GGCAGAAGAGTGGGGAAA CCGTTGGTGAAGGTTGATAA	58

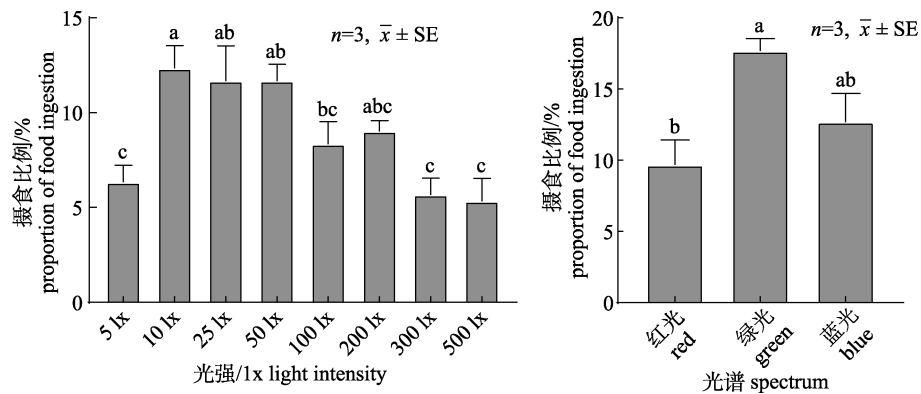


图 1 不同光强、光谱下鳊的摄食比例

用不同字母标记的值之间存在显著差异($P<0.05$)。

Fig. 1 Proportion of food ingestion of *Siniperca chuatsi* under different light intensities and spectrum
Data with different letters above the bars are significantly different ($P<0.05$).

各生长指标如表 2 所示。结果显示, 10 lx 组的终末体重、增重率(WG)、特定生长率(SGR)显著高于其他组($P<0.05$), 饲料系数(FCR)显著低于其他各组($P<0.05$)。相反地, 对照组的终末体重、WG、SGR 显著低于其他各组($P<0.05$), FCR 显著高于其他各组($P<0.05$)。为探究不同光谱条件下鳊生长的变化, 以白光作为对照组, 红光、绿光和蓝光 3 种光谱条件为实验组, 进行了 8 周的养殖实验, 各生长指标如表 3 所示。结果显示, 绿光组的终末体重、WG 和 SGR 显著高于其他组($P<0.05$), FCR 显著低于红光和蓝光组($P<0.05$)。相反地, 红光组的终末体重、WG、SGR 显著低于其他各组($P<0.05$), FCR 显著高于白光和绿光组($P<0.05$), 肝体比(HSI)显著高于其他组($P<0.05$)。

表 2 不同光强下鳊的生长性能

Tab. 2 Growth performance of *Siniperca chuatsi* under different light intensities

指标 indicator	组别 group			
	对照 control	10 lx	200 lx	500 lx
初始体重 initial BW	58.89±0.35	58.64±0.38	58.71±0.41	58.71±0.51
终末体重 final BW	120.02±1.18 ^c	127.28±0.59 ^a	123.08±1.03 ^b	123.24±0.70 ^b
增重率 WG	103.77±0.57 ^c	118.05±0.53 ^a	109.07±0.41 ^b	110.06±0.47 ^b
特定生长率 SGR	1.27±0.01 ^c	1.39±0.01 ^a	1.32±0.01 ^b	1.33±0.01 ^b
摄食率 FR	1.85±0.04	1.78±0.03	1.81±0.01	1.83±0.02
饲料系数 FCR	1.52±0.02 ^a	1.34±0.02 ^c	1.43±0.01 ^b	1.44±0.01 ^b
肝体比 HSI	1.48±0.01	1.50±0.01	1.49±0.01	1.51±0.01
脏体比 VSI	12.31±0.12	12.71±0.31	12.69±0.30	12.81±0.46
存活率 SR	100.00	100.00	100.00	100.00

注: 结果用不同字母标记的组之间存在显著差异($P<0.05$)。
Note. Different letters means significantly difference ($P<0.05$).

表 3 不同光谱下鳊的生长性能

Tab. 3 Growth performance of *Siniperca chuatsi* under different spectrum

指标 indicator	组别 group			
	对照 control	红光 red	绿光 green	蓝光 blue
初始体重 initial BW	57.17±0.32	56.05±0.33	56.11±0.88	56.00±0.43
终末体重 final BW	112.43±0.76 ^b	108.24±0.70 ^c	116.63±1.10 ^a	112.30±0.54 ^b

(待续 to be continued)

(续表 3 Tab.3 continued)

指标 indicator	组别 group			
	control	red	green	blue
增重率 WG	98.57±0.32 ^b	91.68±0.69 ^c	109.17±0.89 ^a	98.34±0.61 ^b
特定生长率 SGR	1.23±0.01 ^b	1.16±0.01 ^c	1.32±0.01 ^a	1.22±0.01 ^b
饲料系数 FCR	1.54±0.03 ^{bc}	1.67±0.03 ^a	1.47±0.03 ^c	1.58±0.02 ^{ab}
肝体比 HSI	1.50±0.01 ^b	1.55±0.01 ^a	1.51±0.01 ^b	1.48±0.01 ^b
脏体比 VSI	12.49±0.09	12.57±0.12	12.52±0.14	12.47±0.12
存活率 SR	100.00	100.00	100.00	100.00

注：同行不同字母上标表示各组间显著差异($P<0.05$).
Note. Different letters means significant difference ($P<0.05$).

2.3 不同光强、光谱对鳊摄食、生长相关基因的影响分析

为了探究不同光强对鳊摄食调控的影响，笔者测定了 4 个食欲相关基因在脑中的表达量以分析不同光强条件下鳊摄食调控的差异，其中包括 2 个促食欲因子(*agrp* 和 *npv*)和 2 个抑食欲因子(*cart* 和 *pomc*)。如图 2a 所示，10 lx 组 *agrp* 基因表达量显著高于其他 3 组($P<0.05$)，200 和 500 lx 组

则与对照组无显著差异($P>0.05$)；如图 2b 所示，10 lx 组 *npv* 基因表达量显著高于 200 和 500 lx 组($P<0.05$)；如图 2c 所示，10 lx 和 200 lx 组 *cart* 基因表达量与对照组无显著差异($P>0.05$)，500 lx 组 *cart* 基因表达量显著高于 10 和 200 lx 组($P<0.05$)；如图 2d 所示，对照组 *pomc* 基因表达量显著高于 3 个光强处理组($P<0.05$)。

为了探究不同光强对鳊摄食调控的影响，食

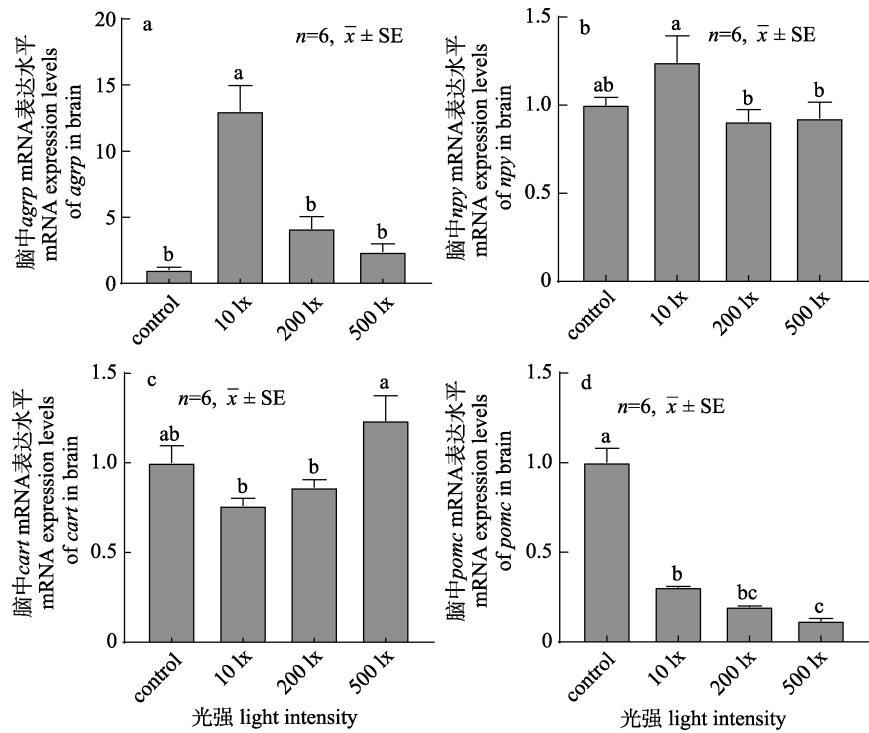


图 2 不同光强下鳊食欲相关基因表达水平

a. *agrp* 基因在脑中的相对表达量; b. *npv* 基因在脑中的相对表达量; c. *cart* 基因在脑中的相对表达量; d. *pomc* 基因在脑中的相对表达量。用不同字母标记的值之间存在显著差异($P<0.05$)。
Fig. 2 Relative expression of appetite-related genes in *Siniperca chuatsi* under different light intensities
a. Relative expression of *agrp* in brain; b. Relative expression of *npv* in brain; c. Relative expression of *cart* in brain; d. Relative expression of *pomc* in brain. Different letters above the bars indicate significant difference ($P<0.05$).

欲基因检测结果如图 3a 所示, 绿光组 *agrp* 基因表达量显著高于红光和蓝光组($P<0.05$), 但 3 个光谱处理组 *agrp* 基因表达量均显著低于对照组($P<0.05$); 如图 3b 所示, 绿光组 *npv* 基因表达量显著高于对照、红光和蓝光组($P<0.05$); 如图 3c 所示, 3 个光谱处理组 *cart* 基因表达量与对照组无显著差异($P>0.05$); 如图 3d 所示, 红光和蓝光组

pomc 基因表达量显著高于对照组($P<0.05$), 且蓝光组显著高于红光组($P<0.05$), 绿光组 *pomc* 基因表达量与对照组无显著差异($P>0.05$).

为了探究不同光强对鳊生长的影响, 笔者选取了 2 个生长相关基因进行分析, 其中包括 *igf1* 和 *gh*。如图 4a 所示, 3 个光强处理组 *igf1* 基因在肝脏中的表达量显著高于对照组($P<0.05$); 如图

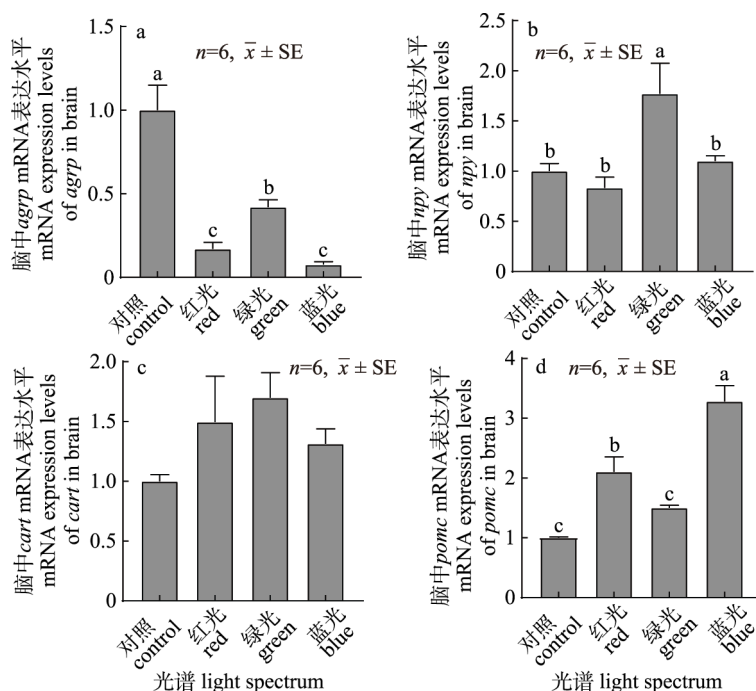


图 3 不同光谱下鳊脑中食欲相关基因表达水平

a. *agrp* 基因在脑中的相对表达量; b. *npv* 基因在脑中的相对表达量; c. *cart* 基因在脑中的相对表达量; d. *pomc* 基因在脑中的相对表达量. 用不同字母标记的值之间存在显著差异($P<0.05$).

Fig. 3 Relative expression of appetite-related genes in *Siniperca chuatsi* under different light spectrum
a. Relative expression of *agrp* in brain; b. Relative expression of *npv* in brain; c. Relative expression of *cart* in brain; d. Relative expression of *pomc* in brain. Different letters above the bars indicate significant difference ($P<0.05$).

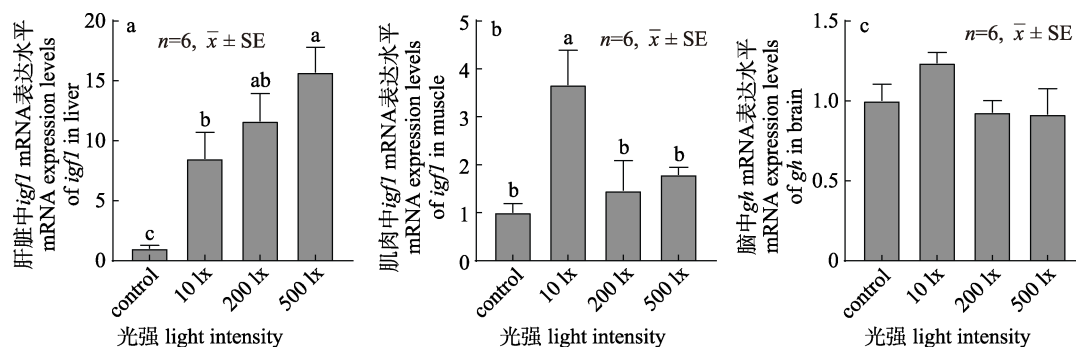


图 4 不同光强下鳊生长相关基因表达水平

a. *igf1* 基因在肝脏中的相对表达量; b. *igf1* 基因在肌肉中的相对表达量; c. *gh* 基因在脑中的相对表达量. 用不同字母标记的值之间存在显著差异($P<0.05$).

Fig. 4 Relative expression of growth-related genes in *Siniperca chuatsi* under different light intensities
a. Relative expression of *igf1* in liver; b. Relative expression of *igf1* in muscle; c. Relative expression of *gh* in brain. Different letters above the bars indicate significant difference ($P<0.05$).

4b所示, 200和500 lx组 *igf1* 基因在肌肉中的表达量与对照组无显著差异($P>0.05$), 10 lx 组则显著高于对照、200和500 lx 组($P<0.05$); 如图4c所示, 10、200和500 lx 组 *gh* 基因在脑中的表达量与对照组无显著差异($P>0.05$)。

为了探究不同光谱对鳊生长的影响, 生长相关基因检测结果如图5a所示, 红光和绿光组 *igf1* 基因在肝脏中的表达量与对照组无显著差异

($P>0.05$), 蓝光组则显著低于对照组($P<0.05$), 此外, 红光和绿光组 *igf1* 基因在肝脏中的表达显著高于蓝光组($P<0.05$), 其中红光组显著高于绿光组($P<0.05$); 如图5b所示, 3个光谱处理组 *igf1* 基因在肌肉中的表达量均显著低于对照组($P<0.05$); 如图5c所示, 在3个光谱处理组之间, *igf1* 基因在肌肉中的表达量无显著差异($P>0.05$), 此外, 红光组 *igf1* 基因在肌肉中的表达量显著低于对照组($P<0.05$)。

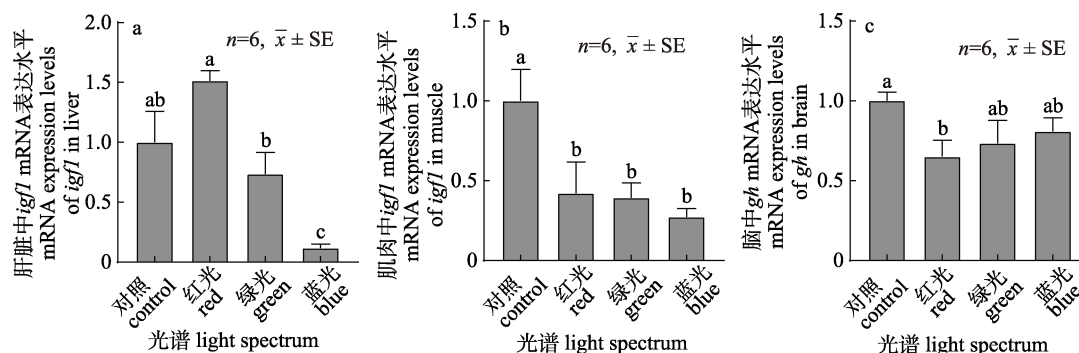


图5 不同光谱下鳊生长相关基因表达水平

a. *igf1* 基因在肝脏中的相对表达量; b. *igf1* 基因在肌肉中的相对表达量; c. *gh* 基因在脑中的相对表达量。

用不同字母标记的值之间存在显著差异($P<0.05$)。

Fig. 5 Relative expression of growth-related genes in *Siniperca chuatsi* under different light spectrum
a. Relative expression of *igf1* in liver; b. Relative expression of *igf1* in muscle; c. Relative expression of *gh* in brain.
Different letters above the bars indicate significant difference ($P<0.05$).

3 讨论

3.1 不同光强、光谱对鳊摄食的影响

研究结果显示, 光强在10~50 lx之间时鳊的摄食比例要高于其他光强处理组, 光强低于10 lx时摄食比例下降。鱼类的捕食行为会受到光强度的影响。一般来说, 反应距离和摄食成功率随着光强度的降低而降低^[37]。但在对一些物种的研究中也发现了不同的结果。与黑暗状态相比, 低水平光照强度也增加了河鲈(*Percy fluviatills*)对无脊椎动物的消耗, 该物种在2 lx (相当于夜间的光照强度)和10 lx (相当于黄昏的光照强度)下摄食效率相同^[38]。在光强处理大于50 lx之后, 鳊通常不太趋向于捕食饵料鱼, 并且在较弱的光线(5 lx)下进行的捕食活动也相对较少。这种结果在先前的研究中也被发现, 与白天的光照水平(10~276 lx)相比, 在弱光(0.5~0.75 lx)条件下, 湖红点鲑(*Salvelinus namaycush*)的捕食速度提高了一倍以

上, 同时还增加了游泳速度^[39]。暴露在高光强下被认为会增加鱼类的游泳时间和攻击性^[40]。由于鳊为肉食性鱼类, 光强的增加可能会使得其尝试捕食饵料鱼的概率升高, 但捕食行为通常需要较大的能量成本, 这是由于鳊进行捕食时一般先保持静止状态, 然后在瞄准饵料时才突然加快游泳速度, 如果这种尝试没有成功, 捕食需要的能量成本将大大增加。因此, 当光线较弱时, 鱼类不仅通过减少游动来减少能量消耗, 而且还可以试图通过减少捕食活动而保存体力。另一方面, 捕食行为的成功可能也归结于光线不足导致饵料鱼的反应能力减弱, 被捕食的概率增加。

不同波长的光可以引起鱼类光感受器的变化, 从而影响个体的活动, 并使得它们游向或远离光源^[1]。在本研究中, 绿光下鳊的摄食比例最高, 其次是蓝光和红光。研究发现, 尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)在红光环境下摄食动机较强, 摄食量较高, 而且这种影响甚至在没有视觉

的情况下也会发生^[41]。另一项研究中发现,在蓝光和绿光下养殖的金鱼(*Carassius auratus*)摄食潜伏期较短,消耗更多的饲料,而在红光中养殖的金鱼表现出较低的食欲^[42]。因此,笔者认为光谱因素可以影响鳊的摄食行为,同时鳊在绿光下表现出更强的食欲。

3.2 不同光强、光谱对鳊生长的影响

超出适宜范围的光强都可能使得鱼类发生应激,这可能影响它们的行为并导致机体代谢加快,增加能量消耗,最终导致生长速度减慢和饲料转化率降低^[1,43]。在本研究中,3个光强处理组的生长性能都要显著优于黑暗养殖下的对照组,表明鳊的生长和发育在光照环境下才能正常进行。先前的研究中也发现了类似的结果,褐点石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*)的生长性能在光照强度超过 10 lx 时得到改善,而在黑暗和高光强(1000 lx)下,相关指标则有所下降^[44]。本研究中鳊在 10 lx 光照水平下养殖 8 周后增重率最高,当光照强度升至 200 和 500 lx 时增重率均低于 10 lx 组,表明不同光照强度对鳊的生长具有显著影响。Handeland 等^[45]认为,光强应保持在 20~40 lx 之间以确保大西洋鲑的最佳发育和生长状态。低光照强度下鳊生长较快的直接原因是由于在 10 lx 光照水平下降低了饲料系数。200 和 500 lx 组的摄食率与 10 lx 组无差异,但与 10 lx 组相比饲料系数显著升高。研究发现,在 100 lx 的光照下饲养乌贼(*Sepia officinalis*)时,生长速度和存活率要大于 350 和 1200 lx 组,这可能是由于乌贼的眼睛对光强度具有很高的敏感性,较为适应昏暗的光照环境,而在强光下的反应较差^[46]。这些研究结果表明,鳊在低光强水平条件下养殖具有良好的生长性能,而在黑暗和高光强水平下生长相关指标则较低。

不同光谱对生长性能的影响已在其他鱼类中得到证实。在不同光谱条件下饲养梭鲈(*Sander lucioperca*) 42 d 后,发现红光饲养下实验鱼的终末体重、特定生长率显著高于白光组,摄食量在绿光、黄光和红光下高于白光组^[47]。在黄光和白光下养殖虹鳟 5 个月后,发现体重与其他处理组相比显著增加,同时在黄光组中还出现了最高的

特定生长率^[48]。对光谱的反应似乎与物种有关,黑鲫(*Carassius carassius*)、葛氏鲈塘鳢(*Perccottus glenii*)和孔雀花鲈(*Poecilia reticulata*)的分别在绿光、蓝光和绿光以及蓝光中出现较高的特定生长率,这种差异可能是由于栖息地和摄食行为的差异所导致的^[49]。在本研究中,鳊在长日照条件下(L:D=14:10)养殖,采用红色、绿色和蓝色的光源进行照射,同时白光作为对照组。结果表明,在绿光饲养下鳊的终末体重、增重率和特定生长率较高,观察到生长性能的改善。此外,与其他光照处理相比,绿光组的饲料系数较低。相反,与其他光照处理相比,当鳊在红光条件下饲养时生长性能则较差,这表明特定的光谱可以促进鱼类的生长性能。在先前的研究中也发现了类似的结果。在红光下饲养的红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)的生长速度比在蓝光和绿光下饲养的生长慢,而在绿光下生长性能更优^[50]。欧洲鲈幼鱼在红光和绿光条件下的生长性能显著优于白光和蓝光^[51]。同时笔者还发现,红光组肝体比(HSI)显著大于其他各组。在对斑马鱼(*Danio rerio*)的研究中发现,在红光下 HSI 升高,生长性能降低^[52]。HSI 是反映肝脏能量储存状况的形态指标^[53]。Zheng 等^[54]认为,HSI 的升高是由于应激鱼类的脂质积聚到肝脏中导致的。因此,笔者认为红光下生长性能较差可能是由于应激反应导致的。

3.3 不同光强、光谱对鳊摄食、生长相关基因的影响

在水产养殖中,鱼类的食欲由食欲相关激素调节。先前的研究已经表述了这 4 种食欲基因在鳊中的作用,其中 *npv* 和 *agrp* 为促食欲因子, *cart* 和 *pomc* 为抑食欲因子^[55]。本研究中,低光强水平下促食欲基因 *agrp* 和 *npv* 的表达量显著高于黑暗和高光强条件下,表明鳊在低光强水平下食欲较强,有助于促进摄食。有学者认为,如果鱼类受到的光刺激不足,就会对生长、食物摄入和消化产生负面影响^[9]。而在 500 lx 光强下时抑食欲基因 *cart* 的表达量显著高于 10 和 200 lx 组,表明过高的光强可能会抑制鳊的摄食行为。目前关于光照强度对于鱼类食欲基因的研究还很匮乏。有研究报道, *pomc* 在 0 lx 时观察到最高水平,在 1000 lx

时观察到最低水平,说明高光强水平会抑制 *pomc* 的表达^[56]。综上所述,低光强水平下鳊的促食欲基因上调,抑食欲基因下调,而在高光强水平下则相反,这说明鳊在低光强下生长的促进作用可能是通过调节摄食基因表达量来促进摄食从而达成的。

不同光谱条件可能也会导致鱼类的摄食出现变化,在这里,笔者检测分析了在白光、红光、绿光和蓝光养殖 8 周后摄食相关基因在鳊脑中的表达。在对斑马鱼的研究中发现, *agrp* 的表达在白光、蓝光和红光组之间无显著差异^[57]。Shimizu 等^[58]也发现了类似的结果, *agrp* 表达量在白光和绿光组之间无显著差异。本研究中, *agrp* 在红光、绿光和蓝光组中的表达量均显著低于白光组,表明 *agrp* 可能不是促进绿光组摄食增加的关键因子。本研究检测了鳊脑中 *npv* 的转录水平,因为这种神经肽在下丘脑中产生并影响鱼类的摄食行为^[59]。短期和长期饥饿都会导致团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)和大鳞鲢(*Oncorhynchus tshawytscha*)大脑中 *npv* 基因上调^[60-61]。然而,饲喂会降低其在大脑中的表达水平^[61]。本研究中,绿光组 *npv* 的 mRNA 表达量显著高于其他各组,同时前文所述的结果也已经证实了绿光对鳊的促生长作用。通过研究白光和绿光照射对条斑星鲃食欲基因的影响,发现绿光不仅增加了 *npv* 的表达,而且还诱导了增重率的升高以及饲料系数的降低^[13]。在对圆斑星鲃(*Verasper variegatus*)的研究中也发现同样的结果,绿光组 *npv* 表达水平高于白光组并促进了生长^[58]。在这些研究中,短波长光对食物摄入系统的刺激作用与增加的食物摄入量以及随后生长性能的改善相关联,在笔者的研究中也发现了类似结果。由此可见,绿光的照射通过诱导 *npv* 表达来促进摄食,并最终促进生长。可以推断出鳊在绿光中摄食行为更活跃,因为与长波长的红光相比,鳊可能更容易感知短波长的绿光。因此,在本研究中, *npv* 表达水平和生长性能的增加显示出绿光照射促进生长的作用。研究表明,蓝光可能具有刺激 *pomc* 基因表达的潜力,因为暴露于蓝光下的金鱼比暴露于绿光或红光的金鱼具有更高的 *pomc* mRNA 水平,相比之下,

绿光或红光可能会抑制 *pomc* 基因表达^[34]。而蓝光和绿光处理条件下条斑星鲃 *pomc* 基因的表达水平显著高于红光组^[33]。本研究中 *pomc* 的转录水平在红光和蓝光组中均显著升高,而绿光组 *pomc* 的表达水平与对照组相比无显著差异。这表明绿光条件下会抑制 *pomc* 基因的表达,而红光和蓝光可能具有刺激 *pomc* 基因表达的潜力,提示了绿光组可能是通过抑制 *pomc* 的表达来促进摄食的。综上所述, *npv* 被认为是一种主要的促食欲因子,它将绿光刺激传递到摄食调控系统中,以增加食物摄入量和随后的体细胞生长。

另一方面鱼类的生长状态通常与体内 GH/IGF-I 轴相关基因的表达水平呈正相关, GH/IGF-I 轴相关基因可以通过刺激细胞分化直接影响鱼类的生长。在环境刺激下,鱼类的下丘脑调节垂体分泌生长激素,进而通过血液循环促进相应组织中 IGF 的合成和分泌,从而促进细胞的生长和分化,最终促进鱼类的生长^[11]。IGF 作为生长激素的介质,被认为影响骨骼和骨骼肌的生长和分化,同时研究表明 GH 的处理可以增加鱼类 *igfl* mRNA 表达水平^[62-63]。在本研究中,各组之间 *gh* 基因的表达量无显著差异,但 10 lx 条件下的 *gh* 基因表达水平均值要高于其他组。当饲养于高光强下时,欧洲鲈 *gh* 基因的表达显著低于低光强组^[51]。10 lx 光照水平下 *igfl* 基因在肌肉中的相对表达量显著高于其他各组,在肝脏中的表达量显著高于对照组。相关研究表明,用不同光周期处理的公子小丑鱼(*Amphiprion ocellaris*)肝脏中 *igf* mRNA 的表达与其平均体长和体重增加相似^[64]。Fukada 等^[65]认为,肌肉和肝脏中 *igfl* 的 mRNA 表达水平与生长状况显著相关。由此可见,10 lx 组体重的增加可能与 *igfl* 的升高相关。

此外笔者评估了红光、绿光和蓝光光谱对 GH/IGF-I 轴相关基因 *gh* 和 *igfl* 表达的影响,结果显示红光和绿光组 *igfl* 在肝脏中 mRNA 表达量显著高于蓝光组,红光、绿光和蓝光组 *igfl* 在肌肉中 mRNA 表达量均显著低于对照组。研究表明,红光能够上调 GH/IGF-I 轴相关基因的表达,而蓝光则显著有利于免疫功能的增强^[66]。在对红鳍东方鲀的研究中发现,绿光和红光组 *igfl* 基因的相

对表达显著高于白光、蓝光和黄光组^[67]。然而,这与在大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)中的研究不一致,该研究中蓝光组显著促进了生长及 *igfl* 基因 mRNA 表达水平^[68]。这些差异可能是由于不同的物种和发育阶段都有特定的适宜光照条件以及所采用的实验方法不同造成的。此外,红光组 *gh* 基因 mRNA 表达量显著低于对照组,而绿光和蓝光组则与对照组无差异。先前的研究也发现了类似的结果,在克氏双锯鱼(*Amphiprion clarkii*)中,绿光和蓝光组 *gh* 基因 mRNA 表达水平显著高于红光组^[69]。然而,在条斑星鲽中,各组之间的 *gh* 表达水平无显著差异^[58]。在欧洲鲈中出现了相反的结果,绿光和蓝光组 *gh* 表达水平低于白光和红光组^[52]。由此可见光谱对不同硬骨鱼类 GH/IGF-1 轴基因表达的影响具有很强的物种特异性。同时也表明,绿光促进生长的分子机制可能因物种而异。在绿光光谱下养殖时,鳊的生长性能得到显著改善,绿光条件下,食欲和生长相关基因的共同作用影响摄食和生长。

4 总结

在不同光强条件下饲养8周后发现,10 lx 的光强可以极大地改善鳊的生长,10 lx 光强下生长相关基因 *igfl* 的表达上调,同时促食欲基因 *npv* 和 *agrp* 上调,抑食欲基因 *cart* 和 *pomc* 下调,而在高光强水平下则相反。在不同光谱条件下饲养8周后发现,在绿光饲养下观察到鳊的生长性能得到了显著改善,而在红光条件下饲养时生长性能则较差。绿光下 *npv* 的表达量显著上升,同时 *cart* 和 *pomc* 的表达量显著下降。综上所述,笔者认为鳊更加偏好低光强和较短波长的光,并且在这些情况下摄食行为较为活跃且具有较好的生长性能。

参考文献:

- [1] Boeuf G, Le Bail P Y. Does light have an influence on fish growth?[J]. Aquaculture, 1999, 177(1-4): 129-152.
- [2] Fielder D S, Bardsley W J, Allan G L, et al. Effect of photoperiod on growth and survival of snapper *Pagrus auratus* larvae[J]. Aquaculture, 2002, 211(1-4): 135-150.
- [3] Güroy D, Güroy B, Merrifield D L, et al. Effect of dietary Ulva and Spirulina on weight loss and body composition of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), during a starvation period[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2011, 95(3): 320-327.
- [4] Wang T, Cheng Y Z, Liu Z P, et al. Effects of light intensity on husbandry parameters, digestive enzymes and whole-body composition of juvenile *Epinephelus coioides* reared in artificial sea water[J]. Aquaculture Research, 2015, 46(4): 884-892.
- [5] Benfield M C, Minello T J. Relative effects of turbidity and light intensity on reactive distance and feeding of an estuarine fish[J]. Environmental Biology of Fishes, 1996, 46(2): 211-216.
- [6] Marchesan M, Spoto M, Verginella L, et al. Behavioural effects of artificial light on fish species of commercial interest[J]. Fisheries Research, 2005, 73(1-2): 171-185.
- [7] Fielder D S, Bardsley W J, Allan G L, et al. Effect of photoperiod on growth and survival of snapper *Pagrus auratus* larvae[J]. Aquaculture, 2002, 211(1-4): 135-150.
- [8] Monk J, Puvanendran V, Brown J A. Do different light regimes affect the foraging behaviour, growth and survival of larval cod (*Gadus morhua* L.)?[J]. Aquaculture, 2006, 257(1-4): 287-293.
- [9] Karakatsouli N, Papoutsoglou S E, Panopoulos G, et al. Effects of light spectrum on growth and stress response of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared under recirculating system conditions[J]. Aquacultural Engineering, 2008, 38(1): 36-42.
- [10] Rajeswari M, Rajasree S, Balasubramanian T. Effect of light levels on growth, survival and skin colour enhancement of marine angelfish, *Apothemichthys xanthurus* (Bennett, 1833) [J]. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2017, 17: 1083-1087.
- [11] Bertucci J I, Blanco A M, Sundarajan L, et al. Nutrient regulation of endocrine factors influencing feeding and growth in fish[J]. Frontiers in Endocrinology, 2019, 10: 83.
- [12] Hoskins L J, Volkoff H. Daily patterns of mRNA expression of two core circadian regulatory proteins, Clock2 and Per1, and two appetite-regulating peptides, OX and NPY, in goldfish (*Carassius auratus*) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A, Molecular & Integrative Physiology, 2012, 163(1): 127-136.
- [13] Takahashi A, Kasagi S, Murakami N, et al. Effects of different green light intensities on the growth performance and endocrine properties of barfin flounder *Verasper moseri* [J]. General and Comparative Endocrinology, 2018, 257: 203-210.
- [14] Yan A F, Zhang L, Tang Z G, et al. Orange-spotted grouper

- (*Epinephelus coioides*) orexin: Molecular cloning, tissue expression, ontogeny, daily rhythm and regulation of NPY gene expression[J]. *Peptides*, 2011, 32(7): 1363-1370.
- [15] Bonvini E, Parma L, Gatta P P, et al. Effects of light intensity on growth, feeding activity and development in common sole (*Solea solea* L.) larvae in relation to sensory organ ontogeny[J]. *Aquaculture Research*, 2016, 47(6): 1809-1819.
- [16] Villamizar N, Blanco-Vives B, Migaud H, et al. Effects of light during early larval development of some aquacultured teleosts: A review[J]. *Aquaculture*, 2011, 315(1-2): 86-94.
- [17] Wei K J, Zhang G R, Zhang H M. Studies on the phototactic characteristics of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) during different development stages[J]. *Journal of Huazhong Agricultural*, 2001, 20(2): 164-168. [魏开建, 张桂蓉, 张海明. 鳊鱼不同生长阶段中趋光特性的研究[J]. 华中农业大学学报, 2001, 20(2): 164-168.]
- [18] Liang X F. Visual characteristics of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) in relation to its feeding habit iii. visual response to prey motion and shape[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1995, 19(1): 70-75. [梁旭方. 鳊鱼视觉特性及其对捕食习性适应的研究 III. 视觉对猎物运动和形状的反应[J]. 水生生物学报, 1995, 19(1): 70-75.]
- [19] Liang X F, Kiu J K, Huang B Y. The role of sense organs in the feeding behaviour of Chinese perch[J]. *Journal of Fish Biology*, 1998, 52(5): 1058-1067.
- [20] Sunuma T, Yamanome T, Amano M, et al. White background stimulates the food intake of a pleuronectiform fish the barfin flounder, *Verasper moseri* (Jordan and Gilbert)[J]. *Aquaculture Research*, 2009, 40(6): 748-751.
- [21] Luchiaro A C, Pirhonen J. Effects of ambient colour on colour preference and growth of juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)[J]. *Journal of Fish Biology*, 2008, 72(6): 1504-1514.
- [22] Downing G. Impact of spectral composition on larval haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L., growth and survival[J]. *Aquaculture Research*, 2002, 33(4): 251-259.
- [23] Heydarnejad M S, Fattollahi M, Khoshkam M. Influence of light colours on growth and stress response of pearl gourami *Trichopodus leerii* under laboratory conditions[J]. *Journal of Ichthyology*, 2017, 57(6): 908-912.
- [24] Nasir NA-N, Farmer KW. Effects of different artificial light colors on the growth of juveniles common carp (*Cyprinus carpio*)[J]. *Mesopotamia Environmental Journal*, 2017, 3(3).
- [25] Villamizar N, García-Alcázar A, Sánchez-Vázquez F J. Effect of light spectrum and photoperiod on the growth, development and survival of European Sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae[J]. *Aquaculture*, 2009, 292(1-2): 80-86.
- [26] Blanco-Vives B, Villamizar N, Ramos J, et al. Effect of daily thermo- and photo-cycles of different light spectrum on the development of Senegal sole (*Solea senegalensis*) larvae[J]. *Aquaculture*, 2010, 306(1-4): 137-145.
- [27] Karakatsouli N, Papoutsoglou S E, Pizzonia G, et al. Effects of light spectrum on growth and physiological status of gilthead seabream *Sparus aurata* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared under recirculating system conditions[J]. *Aquacultural Engineering*, 2007, 36(3): 302-309.
- [28] Vera L M, Davie A, Taylor J F, et al. Differential light intensity and spectral sensitivities of Atlantic salmon, European Sea bass and Atlantic cod pineal glands ex vivo[J]. *General and Comparative Endocrinology*, 2010, 165(1): 25-33.
- [29] Choi Y J, Park S G N R, Jo A H, et al. Physiological effect of extended photoperiod and green wavelength on the pituitary hormone, sex hormone and stress response in chub mackerel, *Scomber japonicus*[J]. *Fishes*, 2023, 8(2): 77.
- [30] Stamm J S. On the relationship between reaction time to light and latency of blocking of the alpha rhythm[J]. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1952, 4(1): 61-68.
- [31] Owen M A G, Davies S J, Sloman K A. Light colour influences the behaviour and stress physiology of captive tench (*Tinca tinca*)[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2010, 20(3): 375-380.
- [32] Papoutsoglou S E, Karakatsouli N, Papoutsoglou E S, et al. Common carp (*Cyprinus carpio*) response to two pieces of music (Eine Kleine Nachtmusik and Romanza) combined with light intensity, using recirculating water system[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2010, 36(3): 539-554.
- [33] Takahashi A, Kasagi S, Murakami N, et al. Chronic effects of light irradiated from LED on the growth performance and endocrine properties of barfin flounder *Verasper moseri*[J]. *General and Comparative Endocrinology*, 2016, 232: 101-108.
- [34] Kasagi S, Mizusawa K, Murakami N, et al. Molecular and functional characterization of opsins in barfin flounder (*Verasper moseri*)[J]. *Gene*, 2015, 556(2): 182-191.
- [35] Liang X F, Lin X T, Li S Q, et al. Impact of environmental and innate factors on the food habit of Chinese perch *Siniperca chuatsi* (Basilewsky) (Percichthyidae)[J]. *Aquaculture Research*, 2008, 39(2): 150-157.
- [36] Ruchin A B. Environmental colour impact on the life of lower aquatic vertebrates: Development, growth, physiological and biochemical processes[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2020, 12(1): 310-327.
- [37] Vogel J L, Beauchamp D A. Effects of light, prey size, and turbidity on reaction distances of lake trout (*Salvelinus namaycush*) to salmonid prey[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1999, 56(7): 1293-1297.
- [38] Czarnecka M, Kakareko T, Jermacz Ł, et al. Combined effects of nocturnal exposure to artificial light and habitat

- complexity on fish foraging[J]. The Science of the Total Environment, 2019, 684: 14-22.
- [39] Mazur M M, Beauchamp D A. A comparison of visual prey detection among species of piscivorous salmonids: Effects of light and low turbidities[J]. Environmental Biology of Fishes, 2003, 67(4): 397-405.
- [40] Almazán-Rueda P, Schrama J W, Verreth J A J. Behavioural responses under different feeding methods and light regimes of the African catfish (*Clarias gariepinus*) juveniles[J]. Aquaculture, 2004, 231(1-4): 347-359.
- [41] Volpato G L, Bovi T S, de Freitas R H A, et al. Red light stimulates feeding motivation in fish but does not improve growth[J]. PLoS One, 2013, 8(3): e59134.
- [42] Noureldin S M, Diab A M, Salah A S, et al. Effect of different monochromatic LED light colors on growth performance, behavior, immune-physiological responses of gold fish, *Carassius auratus*[J]. Aquaculture, 2021, 538: 736532.
- [43] Strand, Alanärä A, Staffan F, et al. Effects of tank colour and light intensity on feed intake, growth rate and energy expenditure of juvenile Eurasian perch, *Perca fluviatilis* L. [J]. Aquaculture, 2007, 272(1-4): 312-318.
- [44] Mukai Y, Lim L, Lu K, et al. Light intensity requirements for feeding behaviour by the brown-marbled grouper, *Epinephelus fuscoguttatus*[J] Sains Malaysiana, 2012, 41(10): 1193-1196.
- [45] Handeland S O, Imsland A K, Ebbesson L O E, et al. Low light intensity can reduce Atlantic salmon smolt quality[J]. Aquaculture, 2013, 384-387: 19-24.
- [46] Sykes A V, Quintana D, Andrade J P. The Effects of light intensity on growth and survival of cuttlefish (*Sepia officinalis*) hatchlings and Juveniles[J]. Aquaculture Research, 2014, 45(12): 2032-2040.
- [47] Luchiarri A C, Freire F A M. Effects of environmental colour on growth of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), maintained individually or in groups[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2009, 25(2): 162-167.
- [48] Dadfar F, Bahaoddini A, Esmaeili HR, Fopp-Bayat D. The effects of different artificial light colours on the growth rate of embryo and juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). Pol J of Nat Sci, 2017, 32 (1): 179-189
- [49] Ruchin A B. Influence of colored light on growth rate of juveniles of fish[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2004, 30(2): 175-178.
- [50] Kim B H, Hur S P, Hur S W, et al. Relevance of light spectra to growth of the rearing tiger puffer *Takifugu rubripes*[J]. Development & Reproduction, 2016, 20(1): 23-29.
- [51] Yan H W, Liu Q, Cui X, et al. Growth, development and survival of European Sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae cultured under different light spectra and intensities[J]. Aquaculture Research, 2019, 50(8): 2066-2080.
- [52] Yuan S S, Xu H Z, Liu L Q, et al. Different effects of blue and red light-emitting diodes on antioxidant responses in the liver and ovary of zebrafish *Danio rerio*[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2017, 43(2): 411-419.
- [53] Foster A R, Houlihan D F, Hall S I. Effects of nutritional regime on correlates of growth rate in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*): Comparison of morphological and biochemical measurements[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1993, 50(3): 502-512.
- [54] Zheng J L, Luo Z, Liu C X, et al. Differential effects of acute and chronic zinc (Zn) exposure on hepatic lipid deposition and metabolism in yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*[J]. Aquatic Toxicology, 2013, 132-133: 173-181.
- [55] Feng H X, Peng D, Liang X F, et al. Effect of dietary hydroxyproline supplementation on Chinese perch (*Siniperca chuatsi*) fed with fish meal partially replaced by fermented soybean meal[J]. Aquaculture, 2022, 547: 737454.
- [56] Choi S H, Kim B H, Lee C H, et al. Response of body color change rearing under different light intensity conditions in farmed red spotted grouper, *Epinephelus akaara*[J]. Fisheries and Aquatic Sciences, 2020, 23(1): 29.
- [57] de Alba G, Carrillo S, Sánchez-Vázquez F J, et al. Combined blue light and daily thermocycles enhance zebrafish growth and development[J]. Journal of Experimental Zoology Part A, Ecological and Integrative Physiology, 2022, 337(5): 501-515.
- [58] Shimizu D, Kasagi S, Takeuchi R, et al. Effects of green light on the growth of spotted halibut, *Verasper variegatus*, and Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*, and on the endocrine system of spotted halibut at different water temperatures[J]. General and Comparative Endocrinology, 2019, 271: 82-90.
- [59] Assan D, Mustapha U F, Chen H P, et al. The roles of neuropeptide Y (Npy) and peptide YY (Pyy) in teleost food intake: A mini review[J]. Life, 2021, 11(6): 547.
- [60] Ji W, Ping H C, Wei K J, et al. Ghrelin, neuropeptide Y (NPY) and cholecystokinin (CCK) in blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*): CDNA cloning, tissue distribution and mRNA expression changes responding to fasting and refeeding[J]. General and Comparative Endocrinology, 2015, 223: 108-119.
- [61] Silverstein J T, Breininger J, Baskin D G, et al. Neuropeptide Y-like gene expression in the salmon brain increases with fasting[J]. General and Comparative Endocrinology, 1998, 110(2): 157-165.
- [62] Kawaguchi K, Kaneko N, Fukuda M, et al. Responses of insulin-like growth factor (IGF)-I and two IGF-binding protein-1 subtypes to fasting and re-feeding, and their relationships with individual growth rates in yearling Masu

- salmon (*Oncorhynchus masou*)[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A, Molecular & Integrative Physiology, 2013, 165(2): 191-198.
- [63] Qin Q, Chen X H, Zhu X C, et al. Insulin-like growth factor I of Yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*): CDNA characterization, tissue distribution, and expressions in response to starvation and refeeding[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2020, 46(1): 177-186.
- [64] Li Z B. The effects of environmental factors on growth and growth-related genes' expressions of *Amphiprion ocellaris* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016. [李泽滨. 环境因子对公子小丑鱼幼鱼生长及其相关基因表达的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.]
- [65] Fukada H, Murashita K, Furutani T, et al. Yellowtail insulin-like growth factor 1: Molecular cloning and response to various nutritional conditions[J]. Domestic Animal Endocrinology, 2012, 42(4): 220-229.
- [66] Chen X, Zhou Y G, Huang J Z, et al. The effects of blue and red light color combinations on the growth and immune performance of juvenile steelhead trout, *Oncorhynchus mykiss*[J]. Aquaculture Reports, 2022, 24: 101156.
- [67] Liu S T, Fang Y Y, Liu Y, et al. Effects of different LED spectra on growth and expression of GH/IGF-I axis and apoptosis related genes in juvenile *Takifugu rubripes*[J]. Frontiers in Marine Science, 2022, 9: 1008068.
- [68] Wu L L, Wang Y N, Han M M, et al. Growth, stress and non-specific immune responses of turbot (*Scophthalmus maximus*) larvae exposed to different light spectra[J]. Aquaculture, 2020, 520: 734950.
- [69] Shin H S, Lee J, Choi C Y. Effects of LED light spectra on the growth of the yellowtail clownfish *Amphiprion clarkii*[J]. Fisheries Science, 2012, 78(3): 549-556.

Effects of light intensity and spectrum on feeding, growth, and related gene expression of Chinese perch, *Siniperca chuatsi*

LAN Jie^{1,2}, LIANG Xufang^{1,2}

1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University; Chinese Perch Research Center of Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
2. Engineering Research Center of Green development for Conventional Aquatic Biological Industry in the Yangtze River Economic Belt, Ministry of Education, Wuhan 430070, China

Abstract: In recent years, many innovative achievements have been made in the artificial culture of Chinese perch *Siniperca chuatsi*, but many gaps exist in the study of the effects of light environment on behavior, physiology, and biochemistry. Herein, the effects of light intensity and spectrum on behavior, feeding and growth performance of Chinese perch were studied. The feeding rates at 10, 25, and 50 lx were significantly higher than those at 5, 300 and 500 lx ($P<0.05$). The feeding ratio was the highest ($P<0.05$), under green light conditions. The results showed that the growth rate and specific growth rate in the 10 lx group were significantly higher than those in other groups ($P<0.05$), and the feed coefficient was significantly lower ($P<0.05$). There was no significant improvement in growth performance at 200 or 500 lx ($P>0.05$). In addition, the expression level of *igf1* gene in muscle was significantly higher than that in other groups under 10 lx exposure; the appetite-promoting genes *npv* and *agrp* were significantly up-regulated ($P<0.05$), and the appetite-suppressing genes *cart* and *pomc* were down-regulated. At 200 and 500 lx, the expression levels of *npv* and *agrp* were not significantly different from those in the control group ($P>0.05$). At the same time, the expression levels of *pomc* at 500 lx were significantly higher than those at 10 and 200 lx ($P<0.05$). In conclusion, the growth performance of Chinese perch was significantly improved under the green light, and the appetite-promoting factors including *npv* and *agrp* and their interactions with growth-related factors promoted feeding and growth under the green light stimulation.

Key words: *Siniperca chuatsi*; light intensity; spectrum; feeding; growth; appetite

Corresponding author: LIANG Xufang. Email: xufang_liang@hotmail.com