



光照颜色对虹鳟行为反应、血浆皮质醇和生化指标的影响

刘 晓, 黄六一*, 刘长东, 盛化香, 黄杰鸿,
刘紫微, 李玉岩, 任建钦, 邬骞力

(中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 光照是影响鱼类行为、生理以及生长的主要环境因子之一。为研究光照颜色对虹鳟行为反应、血浆皮质醇、生化指标的影响, 实验根据鱼类行为学研究方法, 分别将白、红、黄、蓝和绿 5 种光照颜色灯带铺设在室内试验水槽中央底部, 将虹鳟放置在水槽同一侧, 观察虹鳟在水槽中穿越灯带尾次数及行为反应; 根据行为生理学研究方法, 分析比较在不同光照颜色下虹鳟血浆皮质醇、总蛋白 (TP)、白蛋白 (ALB)、甘油三酯 (TG)、总胆固醇 (TC)、谷草转氨酶 (AST)、谷丙转氨酶 (ALT) 的含量差异。结果显示: 5 种光照颜色下虹鳟穿越灯带尾次数均低于空白组, 其中黄光、白光条件下穿越灯带尾次数均显著低于空白组和其余 3 种光照颜色, 红光、蓝光、绿光和空白组之间无显著差异。黄光条件下血浆皮质醇浓度显著高于空白组和其余 4 种光照颜色, 空白组和其余 4 种光照之间无显著差异。5 种光照颜色下总蛋白 (TP)、白蛋白 (ALB)、甘油三酯 (TG)、总胆固醇 (TC)、谷草转氨酶 (AST)、谷丙转氨酶 (ALT) 均具有显著差异。研究表明, 虹鳟比较适应蓝光和绿光, 对黄光和白光有一定的趋避反应, 且黄光的趋避效果最强; 虹鳟可通过自身生理调节以适应不同的光照颜色变化。

关键词: 虹鳟; 光照颜色; 鱼类行为; 血浆皮质醇; 生化指标

中图分类号: S 965

文献标志码: A

自然水域中环境因子(如光照、声音、温度、水流等)对鱼类的生长、生存、摄食、繁殖、昼夜活动等具有一定影响, 其中光照被认为是影响鱼类行为和生理的主要环境因子之一^[1-4]。鱼类对光刺激产生的定向运动称为趋光性, 可分为正趋光性、负趋光性和中性趋光性^[5]。关于鱼的趋光性行为的研究, 许家炜等^[6]发现齐口裂腹鱼 (*Schizothorax prenanti*) 对蓝光和绿光表现为正趋光性, 对红光和黄光表现为负趋光性; 黄六一等^[7]研究了不同颜色和不同强度的光照对不同密度花鲈 (*Lateolabrax japonicus*) 行为的影响, 发

现红光对花鲈的吸引效果最强; 王萍等^[8]研究发现在光照强度一定、颜色不同的条件下, 眼斑拟石首鱼 (*Sciaenops ocellatus*) 对蓝光和绿光表现出负趋光性, 鱼群在远离光源处游动。在渔业捕捞和资源养护中, 主要利用光照诱鱼以提高捕捞效率, 以及通过光驱赶、光拦截配合气泡幕系统、声学系统等建立过鱼设施^[5]; 在鲑鳟鱼类养殖中, 将大西洋鲑 (*Salmo salar*) 在特定季节暴露于人造光照下, 可以调节网箱内大西洋鲑的游泳深度, 并抑制其性成熟, 从而促进生长^[9]; Imsland 等^[10]发现在低温条件下, 不同的光照时

收稿日期: 2020-08-08 修回日期: 2020-10-10

资助项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0901003)

第一作者: 刘晓(照片), 从事鱼类行为学研究, E-mail: 1165258490@qq.com

通信作者: 黄六一, E-mail: huangly@ouc.edu.cn



长能够促进挪威北部大西洋鲑的生长; Clarke 等^[1]发现在模拟自然光周期和加速光周期条件下, 波罗的海区域的大西洋鲑对海水适应性的增强和衰退均较早发生; Taylor 等^[11]通过分析昼夜血浆褪黑素的差异, 发现虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 具有感知光的能力。因此, 研究不同光照对鱼类行为影响和生长具有重要意义。

环境因子的变化会导致鱼体产生不同程度的应激反应, 并引发机体的一系列生理变化, 从而影响鱼的行为, 其中对血浆皮质醇的测定最为广泛^[12], 可以借此反映鱼体生理状态和健康状况^[13]。王帅等^[14]在不同的光照强度下, 测定褐牙鲂 (*Paralichthys olivaceus*) 血浆中皮质醇、生化指标的浓度, 发现褐牙鲂通过自身的生理调节以适应不同的光照强度变化; 吴仓仓等^[15]通过分析血清中皮质醇浓度, 比较了虹鳟和硬头鳟应对温度、盐度胁迫时的抗应激能力。Owen 等^[16]观察鱼的活跃程度和血浆皮质醇浓度, 发现灯光颜色和光周期可能通过降低应激水平来增加欧洲丁鲷 (*Tinca tinca*) 的活动程度。作为衡量鱼类受胁迫程度的重要指标, 血浆皮质醇和血液生化指标的测定能够在生理机能方面对鱼类行为的变化做出解释。

虹鳟隶属硬骨鱼纲 (Osteichthyes) 鲑科 (Salmonidae) 太平洋鲑属 (*Oncorhynchus*), 现已成为世界性重要养殖鱼类之一。虹鳟属于冷水性鲑鳟鱼类, 富含不饱和脂肪酸和人体必需的氨基酸等营养成分, 是广受大众欢迎的优质水产品之一。我国虹鳟养殖主要在淡水冷水资源丰富的地区进行, 年产量约 3 万 t, 是我国重要的水产养殖品种之一。由于淡水冷水资源的有限性以及国家对陆上养殖废水和生态环境管理的提高, 寻找新的养殖模式是发展虹鳟养殖业的必然趋势^[17]。2018 年 5 月 4 日, 我国首座全潜式大型网箱“深蓝一号”建成下水, 用于在黄海冷水团开展虹鳟、硬头鳟、大西洋鲑等鲑鳟鱼类养殖, 使我国海水鲑鳟鱼度夏养殖技术取得实质性突破, 实现了向深海要“新动能”的目标, 为建设“海上粮仓”迈出了重要的一步, 海水养殖虹鳟具有极为重要的意义并且具有良好的前景^[18]。黄海冷水团养殖的虹鳟一般在 20 m 以下水层, 由于水体对光照的吸收作用使生长于水下 20 m 的虹鳟长期处于缺乏光照的状态, 因此研究光照

因素对虹鳟行为、生理等方面影响, 对深远海网箱养殖虹鳟进行补光具有重要作用; 另一方面, 光照可能对虹鳟产生诱集或驱赶作用, 这为大型网箱的批次捕鱼装备的设计提供支持。目前虹鳟在光照条件下的行为反应研究还较少, 且而血液指标也多用于研究水温、盐度、溶解氧、养殖密度等因子对虹鳟的影响, 而光照对虹鳟血液指标的影响研究较少。本实验选用三倍体虹鳟幼鱼, 在室内实验水槽中研究其对不同光照颜色的行为反应, 分析其在不同的光照颜色下血浆皮质醇和血液生理指标的差异, 旨在探讨不同光照颜色对虹鳟趋光性行为以及代谢水平和生理状况的影响, 以期为虹鳟网箱养殖补光和捕捞等装备的设计提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

实验用鱼为三倍体虹鳟幼鱼, 购于临沂市沂水县万泽丰养殖场, 体型相似、健康无病, 平均全长 (17.25±1.34) cm, 平均体质量为 (57.00±8.14) g。实验期间虹鳟均暂养于中国海洋大学音响驯化实验室的圆形水槽中。养殖环境为淡水, 保持温度 16~18 °C, 溶解氧 6~8 mg/L, pH 为 7.5 左右, 自然光照。每天 8:00 投喂一次饵料, 每天换水 2 次, 晚上定时清理鱼池粪便。

1.2 实验设备与布 设

行为实验 实验水槽 (白色) 长 3.40 m, 宽 1.88 m, 实验水深 0.40 m。将长为 4 m, 宽为 10 mm 的灯带沿水槽宽度方向铺设于水槽中央底部, 灯带背面及两端绑有沉子, 确保灯带笔直地平铺于水槽底部, 在水中形成明显的光幕。灯带长于池宽的部分沿两条池壁竖向上铺设, 露出水面部分用黑色胶带罩住。灯带发光颜色分别为白色、红色、黄色、蓝色、绿色, 每米灯带的功率为 12 W, 光源布置如图 1 所示。光照强度的测定使用 TES1330A 光强计, 测量灯带正上方水面处的光照强度, 使用红外摄像头对实验过程进行观察并全程录像, 观察室与水槽在不同房间。

血浆皮质醇、生化指标实验 将灯带平铺于透明玻璃鱼缸 (长 40 cm×宽 32 cm×高 25 cm) 底部长度方向中间, 水深控制在 20 cm。将整个

缸体用黑色遮光布密闭罩住使之内部密闭不透光,防止外界自然光对缸内实验环境的干扰。

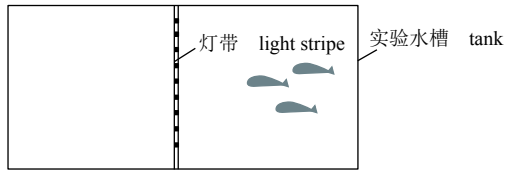


图1 实验装置示意图

Fig. 1 Apparatus of experiment

1.3 实验方法

不同光照颜色的实验 分别将一条白色、红色、黄色、蓝色、绿色的灯带平铺在水槽底部同一位置处,光照强度为 56.9 lx,观察实验鱼穿越光幕(灯带上方)的数量,研究实验鱼对不同颜色光幕的反应。每次实验选取 10 尾健康活泼的鱼置于水槽同一侧,适应水槽环境后开始实验。每次实验进行 1 h,观察并记录每 10 min 穿越光幕的鱼的次数,无论是首次穿越还是重复穿越,只要有穿越就累加一次。每次实验前先进行空白实验,即铺设灯带而不开灯,再依次进行白光、红光、黄光、蓝光、绿光的实验。每种灯光重复实验 3 次。

血浆皮质醇、生化指标的测定 设置 5 种光照颜色,分别为白、红、黄、蓝、绿,光照时长为 1 h,每 9 尾鱼为一个实验组,每组占用 3 个实验缸(相当于 3 次重复实验),每个实验缸放置 3 尾实验鱼,另设置一组空白组(不开灯),共 6 组,总计 54 尾鱼。

实验鱼在经受 1 h 光照处理后采集血液样品。样品采集时,将鱼快速投入加有 MS-222(质量浓度为 200 mg/L)的水桶中麻醉 2 min,然后置于无菌冰盘上,使用 1 mL 一次性注射器对实验鱼进行尾椎静脉取血,立即抽取 1 mL 血液注入含有 EDTA-K₂ 的离心管中。血样在 4 ℃ 静置后,于 4 ℃、4000 r/min 离心 20 min,取上清液即为血浆,迅速保存至 -80 ℃ 冰箱中待测。

采用酶联免疫反应试剂盒(ELISA)测定血浆中皮质醇、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)的含量。所用仪器为 BS-180 全自动生化分析仪(迈瑞,深圳)。

1.4 数据分析

实验数据采用单因素方差分析(One-Way

ANOVA),若满足方差齐性条件且差异显著,则用邓肯多重比较,若不满足方差齐性,则用塔姆黑尼 T2 法进行事后检验。数据分析均利用 SPSS 24.0 软件进行。以 $P < 0.05$ 表示差异显著,结果以平均值±标准误(mean±SE)表示。

2 结果

2.1 行为描述

空白实验时,虹鳟常聚集于水槽边角处,一段时间后在水槽中自由游动,有相互追逐的现象。灯带实验时,虹鳟的行为相比于空白实验均表现出明显不同,点亮灯带后,表现出不同程度的紧张状态,在远离灯带的一侧集群游动且游泳速度明显加快,游动一段时间后会逐渐靠近灯带区域,而后集群快速穿过灯带,随着时间的推移,虹鳟群体在穿越灯带后会逐渐增加来回穿越次数,偶尔会出现两条鱼相互追逐的现象,并在追逐中有穿越灯带的行为。

2.2 不同光照颜色对虹鳟行为的影响

5 种光照颜色下虹鳟穿越灯带尾次数均低于对照组。红光、蓝光、绿光和对照组之间无显著差异($P > 0.05$),绿光条件下虹鳟穿越灯带的尾次数与对照组相近(图 2)。白光、黄光条件下每 10 min 通过的鱼尾次数均显著低于对照组($P < 0.05$)。

2.3 不同光照颜色对虹鳟血浆皮质醇的影响

黄光条件下的血浆皮质醇浓度显著高于空白组和其余 4 种光照颜色($P < 0.05$),空白组和其余 4 种光照之间无显著差异($P > 0.05$)(图 3)。

2.4 不同光照颜色对虹鳟生化指标的影响

血浆 TP 含量在绿光、黄光、空白组、红光组间无显著差异($P > 0.05$),其中绿光、黄光和空白组显著高于白光和蓝光($P < 0.05$),而红光显著高于蓝光($P < 0.05$),与白光无显著差异($P > 0.05$,图 4-a);血浆 ALB 含量红光处理最低($P < 0.05$),绿光组最高($P < 0.05$),空白组与其余 3 种光照处理间无显著差异($P > 0.05$)(图 4-b);血浆 TC 含量在不同光照颜色下差异显著($P < 0.05$),在白光条件下最高,且显著高于空白组和其余 4 种颜色处理组($P < 0.05$),其次为黄光处理组,显著高于绿光和空白组($P < 0.05$)(图 4-c);血浆 TG 含量在不同光照颜色下差异显著($P < 0.05$),在绿光条件下最高,且显著高于空白组和其余 4 种颜色处理

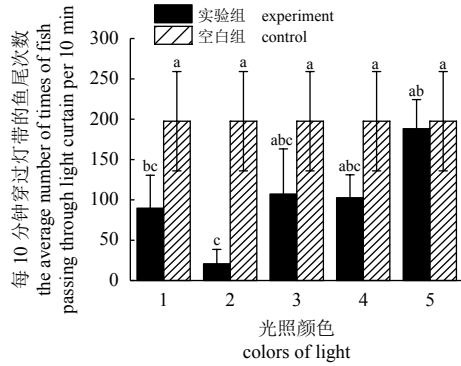


图 2 不同光照颜色下虹鳟每 10 分钟穿越灯带尾次数
1.白色, 2.黄色, 3.红色, 4.蓝色, 5.绿色。图中不同小写字母表示不同光照颜色组间差异显著 ($P<0.05$), 以下各图同

Fig. 2 Average number of number of times fish passing through light curtain of different colors of light per 10 minutes

1. white, 2. yellow, 3. red, 4. blue, 5. green. Different lowercase letters in the figure indicate significant differences between different lighting color groups ($P<0.05$), the same below

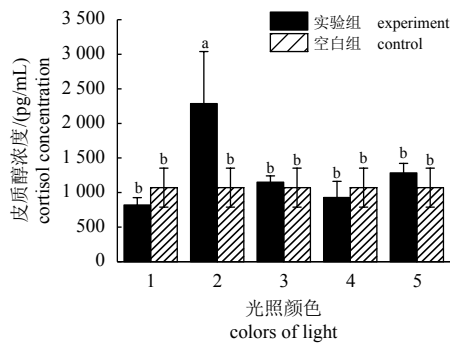


图 3 不同光照颜色对虹鳟血浆皮质醇的影响

1.白色, 2.黄色, 3.红色, 4.蓝色, 5.绿色

Fig. 3 Effect of different colors of light on plasma cortisol in rainbow trout

1. white, 2. yellow, 3. red, 4. blue, 5. green

组 ($P<0.05$, 图 4-d); 血浆 ALT 含量在红光条件下最高, 白光条件下最低, 空白组和其余 3 种颜色处理组之间无显著差异 ($P>0.05$, 图 4-e); 血浆 AST 含量在绿光条件下最高, 其次空白组、蓝光处理组, 黄光处理组最低, 绿光、空白组均显著高于黄光、白光和红光处理组 ($P<0.05$), 而蓝光与白光、黄光之间无显著差异 ($P>0.05$, 图 4-f)。

3 讨论

3.1 虹鳟对光照颜色的选择

自 20 世纪初, 人们利用不同的研究方法来

探究鱼的颜色视觉, 为鱼类具有颜色视觉提供了大量的数据支持。从不同光照颜色对虹鳟行为影响实验结果可知, 与对照组相比, 虹鳟对 5 种颜色的光照都有一定的趋避反应, 但趋避的效果存在着较大差异, 其中黄光的趋避效果最强。根据相关研究, 鱼类对光照颜色的敏感程度和辨认能力受锥状视觉细胞的控制^[19]。Ramsden 等^[20]用显微分光光度法测定了虹鳟幼鱼视网膜的 3 种锥状细胞, 并通过不同波长光的峰吸光度进行了表征, 发现了 5 种不同的视觉色素 (或含有混合视觉色素的光感受器), 并且在虹鳟鱼的受光刺激的水平细胞中检测出 C 型 S 电位^[21], 这些发现为虹鳟幼鱼的色觉提供了令人信服的证据, 由此可知, 虹鳟能够感知生活环境中的不同颜色。虹鳟在不同光照颜色下的行为差异, 是由于虹鳟视锥细胞中不同的视觉色素受到不同的光波刺激而产生不同的物理化学反应, 导致不同的信号传递, 从而引起虹鳟在不同光照颜色下的行为差异, 本研究结果与其相吻合, 但对于黄光产生较强的趋避反应的内在原因, 有待进一步深入研究。

3.2 不同光照颜色对虹鳟血浆皮质醇、生化指标的影响

与绝大多数其他脊椎动物一样, 鱼类体内血浆皮质醇的测量一直是评估鱼类应激反应的常用方法^[22]。硬骨鱼类受到外界环境胁迫时, 体内主要的糖皮质激素 (GC)——皮质醇, 将通过激活下丘脑-垂体-肾间质 (HPI) 轴而释放到血液中, 由此分泌的皮质醇会引发一系列的行为和生理变化, 以促进生存^[23]。本实验中, 在不同光照颜色条件下处理 1 h 后, 虹鳟血浆皮质醇浓度都有变化, 这表明不同光照颜色对虹鳟来说是一种应激因子, 虹鳟通过改变体内血浆皮质醇水平来调整代谢, 应对外界带来的刺激。从皮质醇实验的结果分析, 当光照颜色为黄色时, 虹鳟血浆皮质醇浓度显著高于空白组和其余 4 组, 这一点与不同光照颜色下虹鳟行为实验中的结果较为一致, 表明黄色光对虹鳟产生的应激反应最大。

鱼类血液在维持体内稳态方面具有极为重要的作用, 其可参与机体的物质代谢、免疫调控、营养运输, 当机体受到外界环境胁迫时, 机体的组织细胞代谢和神经-体液调节就会发生

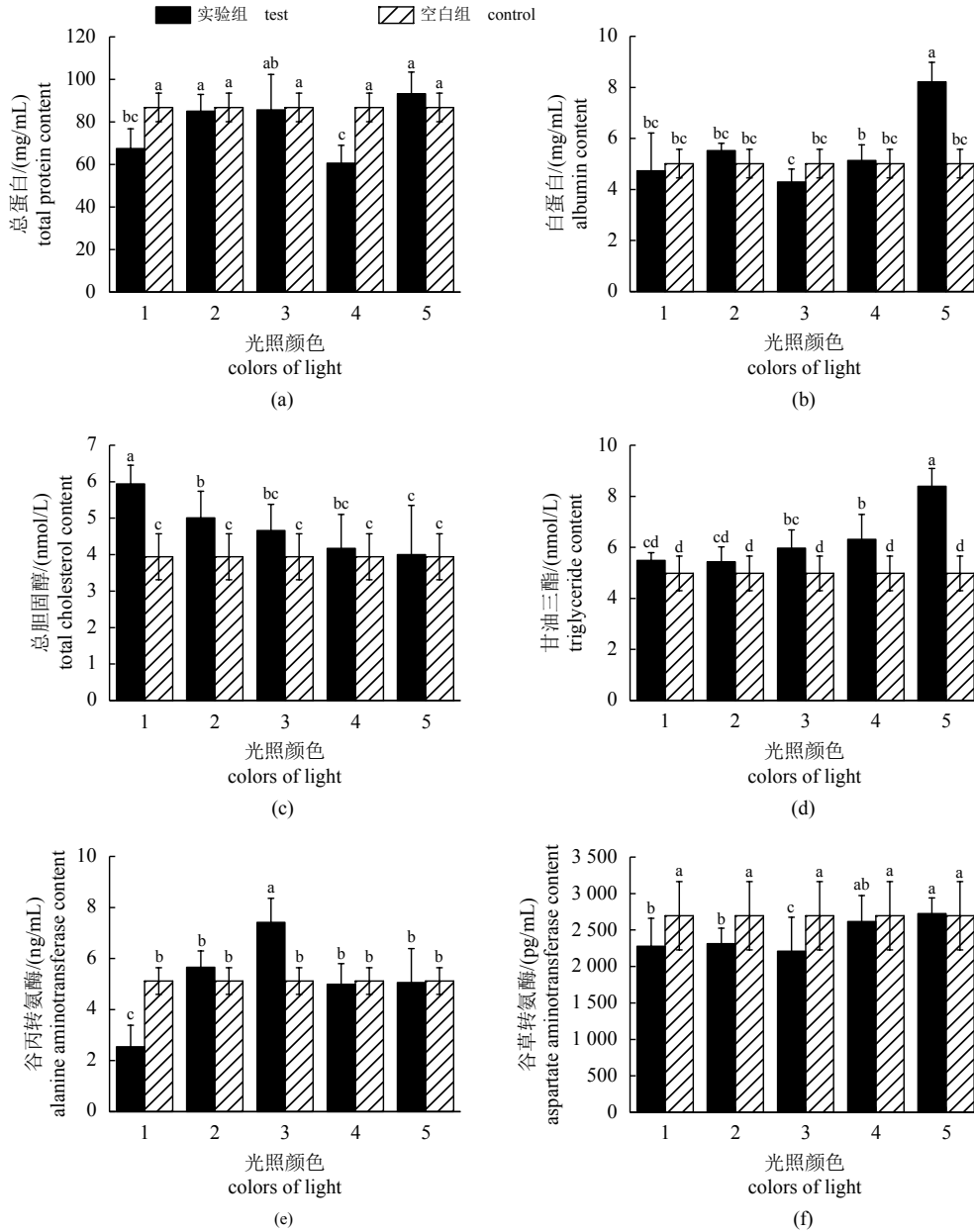


图 4 不同光照颜色对虹鳟血浆总蛋白、白蛋白、总胆固醇、甘油三酯、谷丙转氨酶、谷草转氨酶的影响
1.白色, 2.黄色, 3.红色, 4.蓝色, 5.绿色

Fig. 4 Effects of different colors of light on TP, ALB, TC, TG, ALT, AST in rainbow trout

1. white, 2. yellow, 3. red, 4. blue, 5. green

改变, 并会反映在血液生化指标中^[24]。血浆蛋白可维持血浆胶体渗透压, 其含量是鱼类对环境胁迫反应的指标物^[25], 血液中甘油三酯 (TG)、总胆固醇含量 (TC) 可反映脂类的吸收和代谢状况^[14], 转氨酶在蛋白质代谢中具有重要作用, 其中谷草转氨酶 (AST) 和谷丙转氨酶 (ALT) 的活力最强, 可用于判断机体器官是否损伤, 根据相关研究表明, 光照、营养等因素对鱼类血液中 AST 和 ALT 含量具有重要影响^[26]。本研究中虹

鳟在 1 h 不同颜色光照作用下, TP 和 ALB 含量具有显著变化, 说明不同光照颜色处理对虹鳟的血浆胶体渗透压具有一定影响; TG 和 TC 水平在不同光照颜色作用后呈现明显的波动, 说明在实验中引起了虹鳟体内脂类含量的变化; AST 和 ALT 具有显著的变化, 说明光照颜色对虹鳟的肝脏或心脏等器官产生了不利影响。

鱼类行为是各种生理现象在外部表现的综合结果^[5], 因此本研究中血浆皮质醇、生化指标

能够在一定程度上反映虹鳟在不同光照颜色下的行为差异。但是鱼类血液生化指标会受到自身状态和环境的影响而发生波动, 本实验中虽然在不同光照颜色下虹鳟的血液生化指标具有显著差异, 但缺少一定的规律性。由于本研究仅对虹鳟进行了1 h的光照实验, 对于长时间光照对虹鳟血浆皮质醇、生化指标的影响及虹鳟对光照的适应性需要进一步探究。

3.3 虹鳟辨色能力的实践意义

行为实验结果表明, 虹鳟在夜晚对白、红、黄、蓝、绿5种颜色具有明显的选择性 ($P < 0.05$), 其喜好顺序为绿色 > 红色 > 蓝色 > 白色 > 黄色, 证明虹鳟具有一定的辨色能力, 这可能与其遗传和长期适应自身生活环境有关。虹鳟喜欢栖息于水质清澈、具有砂质底质的流水中, 水体对光具有一定的吸收特性, 且对光的吸收具有选择性, 其中会对黄色光谱区域产生明显的吸收作用, 而光谱中的蓝绿区在水中的衰减程度较弱^[27], 所以虹鳟比较适应蓝绿色光照, 而回避黄色光照。另外, 虹鳟在不同光照颜色下血浆皮质醇含量也能在生理方面反映出虹鳟对不同颜色的光照应激反应强度存在差异。在本实验中, 虹鳟比较适应蓝绿色光照, 由于黄海冷水团中养殖的虹鳟在一定阶段时期内长期处于水下缺水区域, 需要通过补光促进虹鳟生长, 可以进一步研究蓝绿色光对虹鳟生长的影响。鱼类对光照颜色的识别能力已被广泛应用于光色灯诱捕渔业和网具颜色设计^[5]。虹鳟对黄色光具有明显的趋避作用, 可以根据此结果设计水下鱼灯驱赶虹鳟进行捕捞或防止网箱养殖虹鳟逃逸。

参考文献 (References):

- [1] Clarke W C, Lundqvist H, Eriksson L O. Accelerated photoperiod advances seasonal cycle of sea water adaptation in juvenile Baltic salmon, *Salmo salar* L.[J]. *Journal of Fish Biology*, 1985, 26(1): 29-35.
- [2] 王武, 李伟纯, 马旭洲, 等. 水温与光照对瓦氏黄颡鱼幼鱼行为的影响[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(5): 791-796. Wang W, Li W C, Ma X Z, et al. Effects of water temperature and light intensity on the behaviors of *Pelteobagrus vachelli* fingerlings[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(5): 791-796(in Chinese).
- [3] 王琼, 林晨宇, 罗佳, 等. 流水和静水条件下鲢幼鱼对不同强度光源的趋性研究[J]. *水生态学杂志*, 2018, 39(5): 60-66.
- Wang Q, Lin C Y, Luo J, et al. Phototaxis of individual and group *Hypophthalmichthys molitrix* in flowing and still water[J]. *Journal of Hydroecology*, 2018, 39(5): 60-66(in Chinese).
- [4] 刘曾宇, 周志成, 吕为群. 光照周期对尼罗罗非鱼幼鱼昼夜节律调节的作用[J]. *上海海洋大学学报*, 2019, 28(2): 180-189. Liu Z Y, Zhou Z C, Lü W Q. Effects of light cycle on the circadian rhythm of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(2): 180-189(in Chinese).
- [5] 周应祺. 应用鱼类行为学 [M]. 北京: 科学出版社, 2011: 6. Zhou Y Q. *Applied Fish Behavior*[M]. Beijing: Science Press, 2011: 6 (in Chinese).
- [6] 许家炜, 陈静, 林晨宇, 等. 齐口裂腹鱼在低照度下的趋光行为[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(8): 2394-2402. Xu J W, Chen J, Lin C Y, et al. The phototaxis behavior of *Schizothorax prenanti* in low light intensity[J]. *Journal of Ecology*, 2018, 37(8): 2394-2402(in Chinese).
- [7] 黄六一, 徐基强, 陈婧, 等. 光照对花鲈行为反应的影响研究[J]. *渔业信息与战略*, 2018, 33(1): 45-50. Huang L Y, Xu J Q, Chen J, et al. On the behavior response of *Lateolabrax japonicus* to illumination[J]. *Fishery Information & Strategy*, 2018, 33(1): 45-50(in Chinese).
- [8] 王萍, 桂福坤, 吴常文, 等. 光照对眼斑拟石首鱼行为和摄食的影响[J]. *南方水产*, 2009, 5(5): 57-62. Wang P, Gui F K, Wu C W, et al. Effects of illumination conditions on the distributing and feeding of *Sciaemops ocellatus*[J]. *South China Fisheries Science*, 2009, 5(5): 57-62(in Chinese).
- [9] Stien L H, Fosseidengen J E, Malm M E, et al. Low intensity light of different colours modifies Atlantic salmon depth use[J]. *Aquacultural Engineering*, 2014, 62: 42-48.
- [10] Imsland A K D, Roth B, Fjellidal P G, et al. The effect of continuous light at low temperatures on growth in Atlantic salmon reared in commercial size sea pens[J]. *Aquaculture*, 2017, 479: 645-651.
- [11] Taylor J F, North B P, Porter M J R, et al. Photoperiod can be used to enhance growth and improve feeding efficiency in farmed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*[J]. *Aquaculture*, 2006, 256(1-4): 216-234.
- [12] 张亚晨, 温海深, 李兰敏, 等. 急性温度胁迫对妊娠期许氏平鲈血清皮质醇和血液生理指标的影响[J]. *水产*

- 学报, 2015, 39(12): 1872-1882.
- Zhang Y C, Wen H S, Li L M, *et al.* Effect of acute temperature stress on serum cortisol and hematological physiology of gestated *Sebastes schlegelii*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(12): 1872-1882(in Chinese).
- [13] 庞启华, 黄文芳, 谢凤. 丰产鲫细菌性败血症的血液病理变化[J]. *应用与环境生物学报*, 2004, 10(3): 315-317.
- Pang Q H, Huang W F, Xie F. Pathological changes of blood induced by bacterial septicemia in *Carassius auratus* of pengze (♀)×*Cyprinus acutidorsalis* (♂)[J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2004, 10(3): 315-317(in Chinese).
- [14] 王帅, 陈阿琴, 吕为群. 光照强度对褐牙鲈血浆皮质醇、渗透压和生化指标的影响[J]. *广东农业科学*, 2014, 41(11): 131-135, 144.
- Wang S, Chen A Q, Lyu W Q. Effects of light intensity on plasma cortisol, osmolality and biochemical indices of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*)[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41(11): 131-135, 144(in Chinese).
- [15] 吴仓仓, 付占斐, 王芳, 等. 温度和盐度胁迫下虹鳟和硬头鲈抗应激能力的比较[J]. *中国海洋大学学报*, 2019, 49(3): 96-109.
- Wu C C, Fu Z F, Wang F, *et al.* Comparisons of anti-stress abilities of rainbow trout and steelhead trout under temperature and salinity stresses[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2019, 49(3): 96-109.
- [16] 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.
- [17] 郝丽峰, 原辉, 李毅, 等. 三倍体虹鳟微流水养殖研究与比较效益分析[J]. *山西农业科学*, 2018, 46(7): 1190-1194.
- Hao L F, Yuan H, Li Y, *et al.* Research and comparative benefit analysis of triploid rainbow trout in micro water culture[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2018, 46(7): 1190-1194(in Chinese).
- [18] 董双林. 黄海冷水团大型鲑科鱼类养殖研究进展与展望[J]. *中国海洋大学学报*, 2019, 49(3): 1-6.
- Dong S L. Researching progresses and prospects in large salmonidae farming in Cold Water Mass of Yellow Sea[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2019, 49(3): 1-6(in Chinese).
- [19] Niwa H, Tamura T. Investigation of fish vision by means of S-potential. II. Spectral sensitivity and colour vision[J]. *Revue Canadienne de Biologie*, 1969, 28(2): 79-88.
- [20] Ramsden S D, Anderson L, Mussi M, *et al.* Retinal processing and opponent mechanisms mediating ultraviolet polarization sensitivity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Journal of Experimental Biology*, 2008, 211(9): 1376-1385.
- [21] Nakano N, Kawabe R, Yamashita N, *et al.* Color vision, spectral sensitivity, accommodation, and visual acuity in juvenile masu salmon *Oncorhynchus masou masou*[J]. *Fisheries Science*, 2006, 72(2): 239-249.
- [22] Baker M R, Gobush K S, Vynne C H. Review of factors influencing stress hormones in fish and wildlife[J]. *Journal for Nature Conservation*, 2013, 21(5): 309-318.
- [23] Pankhurst N W. The endocrinology of stress in fish: An environmental perspective[J]. *General and Comparative Endocrinology*, 2011, 170(2): 265-275.
- [24] 何福林, 向建国, 李常健, 等. 水温对虹鳟血液学指标影响的初步研究[J]. *水生生物学报*, 2007, 31(3): 363-369.
- He F L, Xiang J G, Li C J, *et al.* Preliminary study on the effect of water temperature on hematology indices of rainbow trout[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(3): 363-369(in Chinese).
- [25] 吴丹华, 郑萍萍, 张玉玉, 等. 温度胁迫对三疣梭子蟹血清中非特异性免疫因子的影响[J]. *大连海洋大学学报*, 2010, 25(4): 370-375.
- Wu D H, Zheng P P, Zhang Y Y, *et al.* Effect of temperature stress on serum non-specific immune factors in swimming crab *Portunus trituberculatus*[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2010, 25(4): 370-375(in Chinese).
- [26] 韩娜娜, 史成银. 血液指标在鱼类学研究中的应用[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(33): 18877-18878, 18880.
- Han N N, Shi C Y. The application of blood indexes in ichthyological research[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(33): 18877-18878, 18880(in Chinese).
- [27] 孙传东, 陈良益, 高立民, 等. 水的光学特性及其对水下成像的影响[J]. *应用光学*, 2000(4): 39-46.
- Sun C D, Chen Y L, Gao L M, *et al.* Water optical properties and their effect on underwater imaging[J]. *Journal of Applied Optics*, 2000(4): 39-46(in Chinese).

Effects of light colors on behavior response, plasma cortisol and biochemical indexes of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*

LIU Xiao, HUANG Liuyi*, LIU Changdong, SHENG Huaxiang, HUANG Jiehong,
LIU Ziwei, LI Yuyan, REN Jianqin, WU Qianli
(College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: In order to study the effect of light color on behavior response, plasma cortisol and blood biochemical indicators of *O. mykiss*, light stripes of white, red, yellow, blue and green, were respectively laid at the bottom of the tank center at a intensity of 56.9 lx. In each experiment, 10 healthy and lively fish were placed on the same side of the tank to observe the times of *O. mykiss* crossing the light curtain in the tank. Each experiment lasted for 1 hour. The number of times of fish passing through the light curtain was observed and recorded every 10 minutes, no matter whether it was the first crossing or repeated crossing. Before each experiment, a control group was carried out, that is, a light stripe was laid without turning on the light, and then experiments were carried out in sequence under white light, red light, yellow light, blue light and green light. The experiment was repeated three times for each light color. Blood samples were collected after the fish were exposed to light for 1 hour. Plasma levels of cortisol, total protein (TP), albumin (ALB), triglyceride (TG), total cholesterol (TC), aspartame aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT) under different light colors were determined by enzyme-linked immune reaction kit (ELISA). The results showed as follows: (1) The number of times of *O. mykiss* crossing the light curtain under yellow and white light conditions was significantly lower than that of the control group and the other three light colors ($P<0.05$), there was no significant difference between red light, blue light, green light and control group ($P>0.05$). (2) The plasma cortisol concentration in yellow light condition was significantly higher than that in control group and the other four light colors ($P<0.05$), there was no significant difference between the control group and the other four light colors ($P>0.05$). (3) There were significant differences in TP, ALB, TG, TC, AST and ALT among five light colors ($P<0.05$). This study indicated that the *O. mykiss* was more adapted to blue light and green light, and had a certain avoidance reaction to yellow and white light, and the effect of yellow light was the strongest, which was consistent with the concentration of cortisol; the *O. mykiss* adapted to different light color changes through active physiological regulation. In conclusion, green light could be used in *O. mykiss* production to reduce the stress response. Yellow light stresses fish and is unsuitable for *O. mykiss* farming, but could be designed as underwater lamp for fishing or preventing fish from escaping from cage. Long-term experiments should be carried out to study the effects of different light colors on behavior, growth, physiological responses of *O. mykiss*.

Key words: *Oncorhynchus mykiss*; light color; fish behavior; plasma cortisol; biochemical indicators

Corresponding author: HUANG Liuyi. E-mail: huangly@ouc.edu.cn

Funding project: National Key Research and Development Projects(2019YFD0901003)