文章编号：1674-5566(2024)06-1392-14 DOI:10.12024/jsou.20240504541

光照颜色对许氏平鲉幼鱼行为和生理的影响

张雨田[1]，田 涛[1,2]，于晓明[1,2]，吴忠鑫[1,2]，李青霞[1,2]，高东奎[1,2]

(1. 大连海洋大学 辽宁省海洋牧场工程技术研究中心，辽宁 大连 116023；2. 设施渔业教育部重点实验室，辽宁 大连 116023)

摘 要： 为探究光照颜色对许氏平鲉幼鱼行为和生理的影响，研究了许氏平鲉个体和群体在5种光照颜色下的行为反应，实验水槽中设置白光、红光、黄光、绿光、蓝光等5种颜色光照区，记录个体和群体的行为反应。同时分别在实验开始后2、4、8和12 h时取样检测分析血浆中皮质醇(Cortisol，COR)浓度、葡萄糖(Glucose，GLU)含量、谷草转氨酶(Aspartate aminotransferase，AST)和谷丙转氨酶(Alanine aminotransferase，ALT))活力。结果显示，许氏平鲉对光照颜色具有一定的偏好选择性，个体许氏平鲉在不同光照颜色下的停留时间比例依次为蓝光22.08%、绿光20.55%、白光17.59%、黄光15.04%、红光15.03%，蓝光显著高于黄光和红光，绿光、白光、黄光和红光之间无显著差异；群体许氏平鲉聚集率依次为蓝光57.33%、黄光15.05%、白光13.10%、绿光8.49%、红光3.89%，蓝光显著高于其他4种光照颜色，红光显著低于黄光和白光，而与绿光无显著差异。无论个体还是群体对蓝光均表现为喜好(正趋向)，对红光均表现为回避(负趋向)，而对黄光、白光和绿光偏好选择不显著。5种光照颜色条件下许氏平鲉血浆中皮质醇浓度具有显著差异，其中蓝光条件下血浆中皮质醇浓度最低，其次为黄光、白光和绿光，而红光条件下最高。血浆中葡萄糖含量在蓝光、黄光和绿光条件下无显著差异，而红光条件下葡萄糖含量较高，5种光照颜色对血浆中谷草和谷丙转氨酶活力影响并不显著。研究表明，光照颜色对许氏平鲉行为和生理具有一定影响，而且偏好选择行为与应激生理和代谢水平上存在显著负相关关系，许氏平鲉在行为上表现为对蓝光喜好，生理上表现为血浆中皮质醇浓度和葡萄糖含量较低，对红光回避，生理上则表现为血浆中皮质醇浓度和葡萄糖含量较高。

关键词： 许氏平鲉；光照颜色；行为；生理

中图分类号： S 917.4 **文献标志码：** A

光是影响水生动物生长、发育、繁殖、栖息等生理活动的重要环境因子之一。它直接或间接地影响动物的存活、摄食、生长代谢和繁殖以及机体的内分泌等生命活动[1]。而光照颜色作为光环境因子中易于控制的因素，已广泛应用于养殖过程中。已有研究表明，不同鱼类对光照颜色的趋向选择存在明显差异。许传才等[2]在不同颜色光对鲤(*Cyprinus carpio*)的诱集效果研究中发现，鲤对光色有较强的选择性，对白光和红光较敏感，而对蓝、绿光不敏感，表现出一定的辨色能力。在红鲫鱼(*Carassius auratus*)对环境颜色及光强的趋向性研究中得出红鲫鱼也具有一定的辨色能力[3]。邓青燕等[4]研究个体和群体斑马鱼(*Danio rerio*)对5种单色光的趋光反应，结果表明，个体和群体斑马鱼均趋向蓝、绿光，回避黄光。LUCHIARI等[5]将虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)幼鱼在白光、蓝光、绿光、黄光和红光环境对其偏好进行了测试。结果发现虹鳟幼鱼在1 ℃时偏爱蓝光和绿光，而12 ℃时偏爱绿光。SARDO等[6]在研究不同光波长对竹筴鱼(*Trachurus japonicus*)幼鱼行为特征的影响时发现，相较于其他颜色，蓝光和白光对竹筴鱼幼鱼表现出明显的吸引效果。因此，不同光照颜色对鱼类偏好选择行为会产生不同程度的影响。

光照颜色不仅会对鱼类行为产生影响，而且也会对鱼类的生理产生影响。当鱼体处于不同

收稿日期： 2024-05-09 **修回日期：** 2024-06-25

基金项目： 国家自然科学基金(42030408)

作者简介： 张雨田(1999—)，男，硕士研究生，研究方向为鱼类行为学。E-mail:480455910@qq.com

通信作者： 田 涛，E-mail:tian2007@dlou.edu.cn

光照环境中时，会产生不同程度的应激反应，导致血液中的各项生理指标变化以维持鱼体内环境的稳定。赵鑫等[7]在28 h急性光照射下，发现虹鳟在16 h受到的胁迫最强烈，绿光对虹鳟基本不产生胁迫。刘晓等[8]根据鱼类行为学方法研究光照颜色对虹鳟行为和生理方面的影响，结果表明，虹鳟比较适应蓝、绿色光照，而对黄光和白光有一定的趋避反应。CHOI等[9]研究测试了黑双锯鱼(*Amphiprion melanopus*)在可见光下(红、绿、蓝)的氧化应激反应，结果表明，绿光和蓝光抑制了饥饿状态下黑双锯鱼的氧化应激并增强了免疫功能。可见，光照颜色可以改善对鱼类产生的负面影响如压力和应激胁迫。因此，在养殖过程中选择鱼类偏好的光照颜色，不仅为养殖鱼类创造更加适宜的生存环境，还可提高鱼类的福利水平。

许氏平鲉(*Sebastes schlegelii*)又名黑鲪，隶属于鲉形目(Scorpaeniformes)鲉科(Scorpaenidae)平鲉属(*Sebastes*)，营卵胎生繁殖。以鱼类、甲壳类和头足类等为食[10]，是我国黄渤海常见的经济鱼类。许氏平鲉生存温度范围广，洄游范围小，一般栖息于浅海岩礁或海藻丛中[11]，易于利用人工鱼礁[12]增殖或进行网箱养殖。在海洋牧场建设中，许氏平鲉已成为主要增殖放流鱼种。目前，已有学者研究了流速[13]、温度[14]和溶解氧等环境因子对许氏平鲉行为和生理的影响，而光环境因子中也有研究人员观察了光照强度对许氏平鲉行为和生长摄食的影响，光照颜色对许氏平鲉生长[15]和生理影响方面也已经取得相应成果。但关于不同光照颜色对许氏平鲉行为影响的研究较少，本研究旨在探究许氏平鲉偏好的光色环境以及光环境对其行为和生理的影响，为海洋牧场建设中利用光色进行群体行为控制以及养殖过程中适宜光色选择、饵料投喂和光诱捕捞等生产实践提供参考依据，促进许氏平鲉增养殖的可持续健康发展。

1　材料与方法

1.1　实验用鱼

实验所用健康许氏平鲉幼鱼购于大连天正实业有限公司，共计1 160尾。实验期间暂养在品字循环水槽内，温度为(21±1)℃、盐度为30，pH为7~7.5，溶解氧>6.0 mg/L。24 h不间断充气供氧，暂养期间每天投喂水产配合饲料，沃食EP料3#，每日上午8:30和下午17:30各饱食投喂一次，投喂后及时清理残饵，换水1/3。暂养期间光照强度为610~630 lx，光周期控制为12 L:12 D，光照时间为8:00~20:00。

1.2　实验装置

实验采用如图1所示自制圆形实验水槽，直径为90 cm，高70 cm，中心圆柱桶直径20 cm(内附可抽离隔网)，圆柱桶上开孔直径10 cm，以减少不同颜色的光照在中心区域混合，对实验结果产生影响。圆形实验水槽被中间PVC隔板划分为5个大小相等的区域，中间隔板到水槽壁距离为10 cm，鱼可在各区域间自由游动，增大选择空间，隔板和圆柱桶材料和颜色与圆形实验水槽相同，实验时水深30 cm，圆桶正上方1 m处安装高清摄像机1台(DS-IPC-B12HV3-IA，海康威视)用来记录鱼类行为，摄像头拍摄范围覆盖整个装置，将LED灯(LS-DP01)固定在桶壁上，灯距离水面10 cm。实验所用LED灯功率为30 W，光照强度可调，5种LED光分别为白光(全光谱)、红光(625±5)nm、黄光(590±5)nm、绿光(520±5)nm、蓝光(450±5)nm，光照强度用照度计(三量SanLiangPP710)测量，以水槽中心位置的测定值为准。

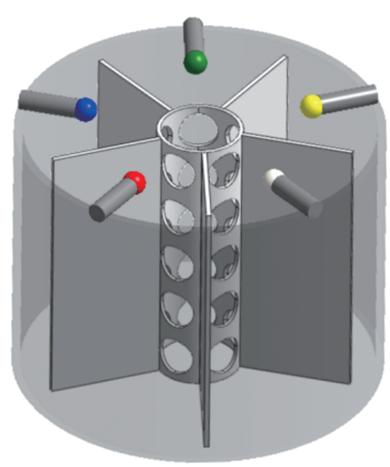


图1　实验装置示意图

Fig. 1　Schematic diagram of experimental setup

1.3　实验方法

1.3.1　行为实验

为了避免自然光和外界环境对鱼的行为产生影响，实验在遮光的暗室中进行(图2)，首先进行个体实验：从暂养水槽中挑选生长状况良好的

1尾鱼，放入自制圆形实验水槽中心区域暗适应60 min，适应结束后，抽离隔网，同时开启5种光照颜色的光源，每次实验历时30 min，采用视频监控的方式记录个体的停留区域以及实验过程在各区域停留时间，一次实验结束后捞出放到暂养水槽中，更换实验鱼继续进行实验。共重复实验10次（重复实验时各隔室光照颜色调换顺序，避免偶然性）；群体实验：从暂养水槽中挑选生长状况良好的50尾鱼，放入自制养殖水槽中心圆形区域暗适应60 min，适应结束后，抽离隔网，同时开启5种光照颜色的光源，每次实验历时30 min，采用视频监控的方式，每30 s记录一次各区域聚集数量（各区域的栖息聚集数量以每次记录下的数据平均值计算），一次实验结束后捞出放到暂养水槽中，更换实验鱼继续进行实验。共重复实验5次（重复实验时各隔室光照颜色随机调换顺序，避免光色位置记忆影响实验结果）。

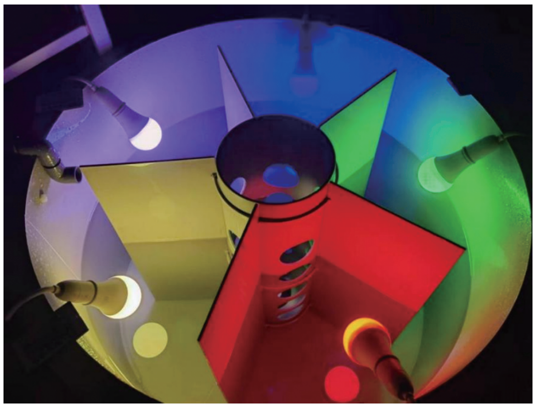


图2 实验场景与装置实录

Fig. 2 Experimental scene and device record

1.3.2 生理实验

设置5种光照颜色处理分别为蓝光、白光、黄光、红光、绿光，每个处理组内50尾鱼，每个处理组设3个重复，另外设置一对照组（模拟自然光条件），每个实验组都放在独立密闭遮光养殖水槽中，避免外界因素干扰。在5种光照颜色处理2、4、8、12 h后进行血液样本采集。根据鱼体大小用MS-222（浓度为150 mg/L）进行麻醉，使用2 mL一次性注射器对实验鱼进行尾椎静脉取血，抽取1 mL血液注入离心管中。血样4 ℃静置后离心，于4 ℃、10 000 r/min离心10 min，上清液即为血浆，迅速保存到−40 ℃冰箱待测。

使用酶联免疫反应试剂盒（ELISA），采用微板法测定血浆中皮质醇（Cortisol，COR）、葡萄糖（Glucose，GLU）、谷草转氨酶（Aspartate aminotransferase，AST）和谷丙转氨酶（Alanine aminotransferase，ALT）的含量和活力。其中皮质醇常用来评估鱼类应激反应，葡萄糖作为能量来源维持生命活动具有至关重要的作用，而谷草和谷丙转氨酶在代谢中具有重要作用，可用于判断鱼类肝脏的健康状况。检测仪器为Infinite F50全自动酶标仪。

1.4 数据处理与分析

1.4.1 数据处理

个体实验中连续统计30 min内每尾鱼在各个区域停留的时间（以个体从中心区域作出首次选择后开始进行时间统计），以实验鱼在各区域停留时间的百分比作为个体对不同光照颜色的偏好选择程度。

群体实验中许氏平鲉对不同光照颜色的偏好选择用聚集率（η）表示许氏平鲉对不同光照颜色的偏好选择程度。

聚集率公式：

$$\eta=\frac{n}{N}\times 100\% \tag{1}$$

式中：η为聚集率；n为某一区域中聚集的试验鱼的尾数；N为整个水槽中试验鱼的总尾数。

参考巩建华等[3]、邓青燕等[4]和卢克祥等[16]的研究方法，避免随机选择对实验结果的影响，将许氏平鲉对不同光照颜色的选择用选择指数（E）来表示，公式为

$$E=\frac{\eta_i-P_i}{P_i} \tag{2}$$

式中：E为选择指数，E=0表示无选择，E<0表示回避（负向选择），E>0表示喜好（正向选择），E的绝对值越大说明选择的倾向性越强烈；η_i为在某一颜色区域鱼的聚集率；P_i为鱼随机出现在水槽各区域的概率。

将群体实验中选择指数的统计时间主要分为3个阶段："早期E1"（0~10 min）、"中期E2"（11~20 min）、"晚期E3"（21~30 min）。

1.4.2 数据分析

实验数据首先使用Excel进行常规计算，随后采用SPSS 22.0软件进行统计分析和单因素方差分析（One-way ANOVA，P=0.05），使用最小显著极差法（LSD）检验差异显著性。所有数据结果

以平均值±标准误(Mean±SE)表示，$P<0.05$时，差异性显著。通过Pearson法对许氏平鲉行为指标与生理指标进行相关性分析，$P<0.01$表示相关性极显著，$P<0.05$表示相关性显著。

2　结果

2.1　不同光照颜色对许氏平鲉幼鱼行为的影响

2.1.1　个体和群体许氏平鲉幼鱼在5种光照颜色环境下的行为描述

个体许氏平鲉行为描述：在放入中心区域暗适应一段时间后，个体出现较强的探索性行为，多次触碰隔网，此时活跃性较强。在开灯瞬间个体常停留在中心暗适应区域，表现出较为紧张的状态，在中心暗适应区域进行多次试探、徘徊，处于适应陌生环境的阶段，而后游离中心暗适应区域。沿水槽边缘游动，对偏好光照颜色进行选择，在此过程中游泳速度较快，但也出现在各光照颜色区域短暂停留进行探索的现象，仍处于适应不同光照颜色环境的阶段。随着时间的推移，游动一段时间后，以中心区域为连接，在各光照颜色区域之间不断穿梭，经过多次选择后，游泳速度明显减慢，在各光照颜色区域停留时间也不断延长。

群体许氏平鲉行为描述：在放入中心区域暗适应一段时间后，群体许氏平鲉的行为相比于个体表现出明显不同，由于中心区域个体数量较多，活动空间受限，在此较为拥挤的环境下，活跃性较弱，群体表现出较为稳定状态。开灯瞬间个体迅速游离中心暗适应区域，分散到各光照颜色区域，多数表现为松散巡游状态下的高速无规律运动，即游泳的速度大小、方向无规律，活动范围广。少数个体紧密依附于水槽底部并长时间处于趴伏状态，无明显聚集现象。经过一段时间的巡游选择，对不同光照颜色环境逐渐适应，个体开始靠近各偏好光照颜色区域，此时游泳速度明显减慢，鱼体间相互堆叠，身体接触频率升高。随后在各光照颜色区域出现较为明显的聚集现象，具体表现为各光照颜色区域小群体间的聚集，并逐渐趋于稳定状态。偶尔会出现个体快速穿梭于各光照颜色区域或在两区域之间反复选择停留的现象。

2.1.2　个体许氏平鲉在5种光照颜色环境下的行为反应

个体许氏平鲉经过60 min的暗适应后，游离中心暗适应区域，开始在5种不同光照颜色间进行选择，个体首次选择的光照颜色情况见表1。

表1　个体许氏平鲉首次选择光照颜色的次数和首次选择所用时间

Tab. 1　Number of times and time taken for the first selection of light colors by individual *Sebastes schlegelii*

时间频率 Time frequency	蓝光 Blue light	白光 White light	黄光 Yellow light	红光 Red light	绿光 Green light
首次选择的次数 First selection times	5	2	1	1	1
首次选择所用时间 Time taken for first selection/s	21.60±2.88	22.00±4.24	38	30	33

由表1可知，个体首次选择的光照颜色区域中，首次选择进入蓝光区域(5次)的次数最高，其次为白光(2次)，选择进入黄光(1次)、红光(1次)和绿光(1次)区域的次数相同。从首次选择所用时间上来看，个体对蓝光(21.6±2.88 s)和白光(22±4.24 s)的首次选择时间较短，而对黄光(38 s)、红光(30 s)和绿光(33 s)首次选择时间的较长。个体在对不同光照颜色进行首次选择时，优先选择蓝光环境且选择所用时间短，其次为白光，再次为黄光、红光和绿光。这表现出许氏平鲉对蓝光和白光喜好性较强，而对黄光、红光和绿光喜好性较弱。

由表2可知，个体在蓝光(92.40±15.60)区域的停留次数高于白光(88.70±16.00)、黄光(82.90±16.16)、绿光(83.60±16.49)和红光(77.20±12.34)区域，各光照颜色区域停留次数差异均不显著($P>0.05$)。而各光照颜色区域停留次数明显高于中心区域，且差异显著($P<0.05$)。在30 min的统计时间内，个体在蓝光[(397.30±17.00)s]区域停留时间的平均值高于绿光[(369.70±17.28)s]和白光[(316.40±14.80)s]区域，但差异不显著($P>0.05$)，蓝光、白光和绿光区域停留时间的平均值明显高于黄光[(270.40±13.65)s]、红光[(270.50±11.29)s]和中心区域[(174.70±14.64)s]，且差异

显著($P<0.05$)。其中蓝光区域停留时间最长,占统计时间的22.08%,其次是绿光的和白光,分别占比20.55%和17.59%,再次是黄光15.04%和红光15.03%,中间区域停留时间占比最低,仅为9.71%。通过对个体的停留次数和停留时间分析发现,5种光照颜色区域中蓝光区域的停留次数和停留时间均最高,红光区域停留次数和停留时间均最低。个体许氏平鲉在5种光照颜色区域的停留次数上不存在显著差异($P>0.05$),但在停留时间上,个体对5种光照颜色的选择存在显著差异($P<0.05$)。

表2 个体许氏平鲉的停留次数和停留时间及比例

Tab. 2 The number, duration, and proportion of stays of individual *Sebastes schlegelii*

光照颜色区域 Light color area	停留次数 Number of stays	停留时间 Duration of stay	
		时间 Time/s	比例 Proportion/%
蓝光 Blue light	92.40±15.60^{a}	397.30±17.00^{a}	22.08
白光 White light	88.70±16.00^{a}	316.40±14.80^{ab}	17.59
黄光 Yellow light	82.90±16.16^{a}	270.50±11.29^{bc}	15.04
红光 Red light	77.20±12.34^{a}	270.40±13.65^{bc}	15.03
绿光 Green light	83.60±16.49^{a}	369.70±17.28^{ab}	20.55
中心区域 Central area	23.30±6.57^{b}	174.70±14.64^{c}	9.71

注:同列中肩标相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Notes: The same lowercase letters in the same column indicate no significant difference ($P>0.05$), while different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).

2.1.3 群体许氏平鲉在5种光照颜色环境下的行为反应

群体许氏平鲉经过60 min的暗适应后,游离中心暗适应区域,开始对5种不同光照颜色进行选择,许氏平鲉出现在蓝、白、黄、红、绿和中心区域最高聚集率和最低聚集率见表3。在5种光照颜色区域中,蓝光区域最高聚集率和最低聚集率分别为74.4%和39.6%,显著高于其他各光照颜色区域($P<0.05$)。各光照颜色区域最高聚集率依次为黄光(33.6%)、白光(25.6%)、绿光(22.4%)、红光(13.2%)区域。红光区域最高聚集率最低,与其他4种光照颜色区域差异显著($P<0.05$)。黄光(7.2%)区域最低聚集率显著高于白光(3.6%)、红光(1.2%)和绿光(3.2%)区域的最低聚集率($P<0.05$)。这与个体实验中结果相似,中心区域与红光区域在个体停留时间和群体聚集率上均无显著差异($P>0.05$)。

由图3可见,群体许氏平鲉在蓝光区域的聚集率(57.33%)最高,显著高于其他各光照颜色区域($P<0.05$),黄光(15.05%)和白光(13.10%)区域聚集率显著高于红光(3.89%)和中心区域(2.38%,$P<0.05$),但与绿光(8.49%)区域聚集率无明显差异($P>0.05$)。由聚集率可以看出群体在5种光照颜色下的偏好选择程度由大到小依次为蓝光、黄光、白光、绿光、红光。

表3 群体许氏平鲉最高聚集率和最低聚集率

Tab. 3 Maximum and minimum aggregation rates of the *Sebastes schlegelii* population

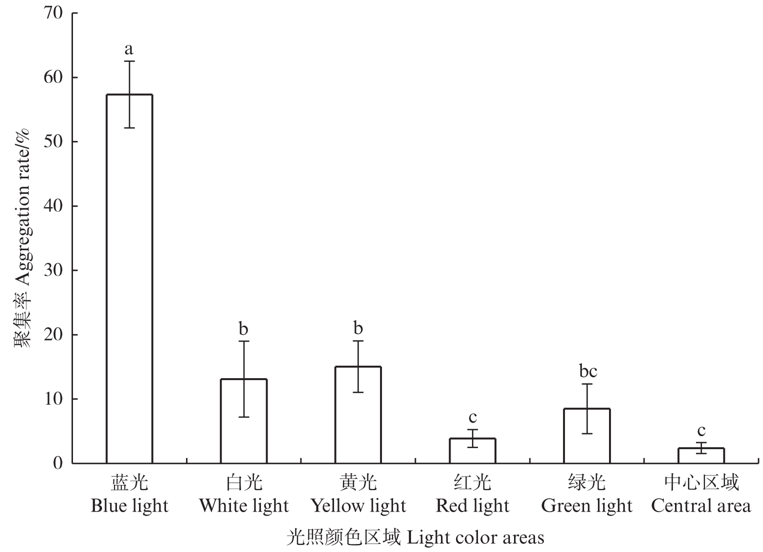
光照颜色区域 Light color area	最高聚集率 Maximum aggregation rate/%	最低聚集率 Minimum aggregation rate/%
蓝光 Blue light	74.4^{a}	39.6^{a}
白光 White light	25.6^{bc}	3.6^{c}
黄光 Yellow light	33.6^{b}	7.2^{b}
红光 Red light	13.2^{d}	1.2^{cd}
绿光 Green light	22.4^{c}	3.2^{cd}
中心区域 Central area	9.2^{d}	0^{d}

注:同列中肩标相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Notes: The same lowercase letters in the same column indicate no significant difference ($P>0.05$), while different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).

2.1.4 个体和群体许氏平鲉对不同光照颜色的选择

由表4可知,在30 min内个体许氏平鲉在蓝光(0.38)、绿光(0.095)和白光(0.046)区域表现为正向选择(即喜好)。黄光、红光和中心区域的选择指数分别为−0.14、−0.19和−0.39,个体许氏平鲉在这3个区域表现为负向选择(即回避)。因此,根据选择指数绝对值的高低,个体许氏平鲉对5种光照颜色的偏好顺序依次为蓝光>绿光>白光>黄光>红光。



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Different lowercase letters indicate significant difference($P<0.05$).

图3　群体许氏平鲉在不同光照颜色区域的聚集率

Fig. 3　Aggregation rate of *Sebastes schlegelii* in different light color areas

表4　个体和群体许氏平鲉的选择指数

Tab. 4　Selection index of individuals and groups of the *Sebastes schlegelii*

数量 Quantity	蓝光 Blue light	白光 White light	黄光 Yellow light	红光 Red light	绿光 Green light	中心区域 Central area	偏好顺序 Preference order
个体 Individual	0.38	0.046	−0.14	−0.19	0.095	−0.39	蓝>绿>白>黄>红
群体 Group	2.44	−0.21	0.096	−0.78	−0.49	−0.85	蓝>黄>白>绿>红

群体许氏平鲉对不同光照颜色的选择:群体许氏平鲉在蓝光和黄光区域选择指数为正值2.44和0.096,表现为喜好。在白光、绿光、红光和中心区域选择指数分别为−0.21、−0.49、−0.78和−0.85,为负值,均表现为回避。群体许氏平鲉对5种光照颜色的偏好顺序依次为蓝光>黄光>白光>绿光>红光。

从偏好顺序可以看出,在对5种光照颜色的选择上个体和群体存在相似之处,无论个体还是群体对蓝光均表现为喜好,对红光均表现为回避。此外,通过选择指数分析发现个体对绿光和白光表现为喜好,对黄光表现为回避,而群体对这3种光照颜色的选择与个体的偏好选择结果相反。

群体许氏平鲉不同时间段的选择指数,如图4所示,早期E1(0~10 min)时间段内,许氏平鲉对蓝光和黄光表现为喜好,对白光、绿光、红光和中心区域均表现为回避。在中期E2(11~20 min)时间段内,许氏平鲉对蓝光、白光和黄光表现为喜好,对绿光、红光和中心区域仍表现为回避。由早期阶段对白光回避,经过一段时间的适应,转变为喜好。在晚期E3(21~30 min)时间段内,表现与早期阶段相同的偏好性。随着时间的推移,许氏平鲉逐渐适应5种光照颜色环境,30 min内,选择指数虽出现波动,但从整体上看,许氏平鲉对各光照颜色环境的偏好程度仍具有一定规律性,许氏平鲉始终保持对蓝光和黄光的喜好,均表现为正趋向性,且对蓝光始终保持较高的喜好程度。在E1和E2阶段,对于黄光、白光喜好程度增强,而对于绿光和红光回避程度减弱。

2.2　不同光照颜色对许氏平鲉幼鱼生理的影响

2.2.1　不同光照颜色对许氏平鲉血浆皮质醇的影响

不同光照颜色下分别处理2、4、8和12 h后,许氏平鲉血浆中皮质醇(COR)浓度变化如图5所示。在整个实验光照处理时间内,红光组血浆COR浓度始终显著高于其他各光照处理($P<0.05$)。在不同光照颜色处理2 h后,绿光和对照组显著高于白光、黄光和蓝光组($P<0.05$),而绿光和对照组无显著差异($P>0.05$)。在不同光照颜色处理4 h后,绿光、白光和对照组显著高于蓝

光和黄光组(P<0.05),而蓝光和黄光组无显著差异(P>0.05)。在不同光照颜色处理8 h后,绿光和白光组显著低于对照组(P<0.05),且显著高于黄光和蓝光组(P<0.05),而绿光和白光组无显著差异(P>0.05)。在不同光照颜色处理12 h后,各处理组之间的差异性与光照处理4 h时一致。

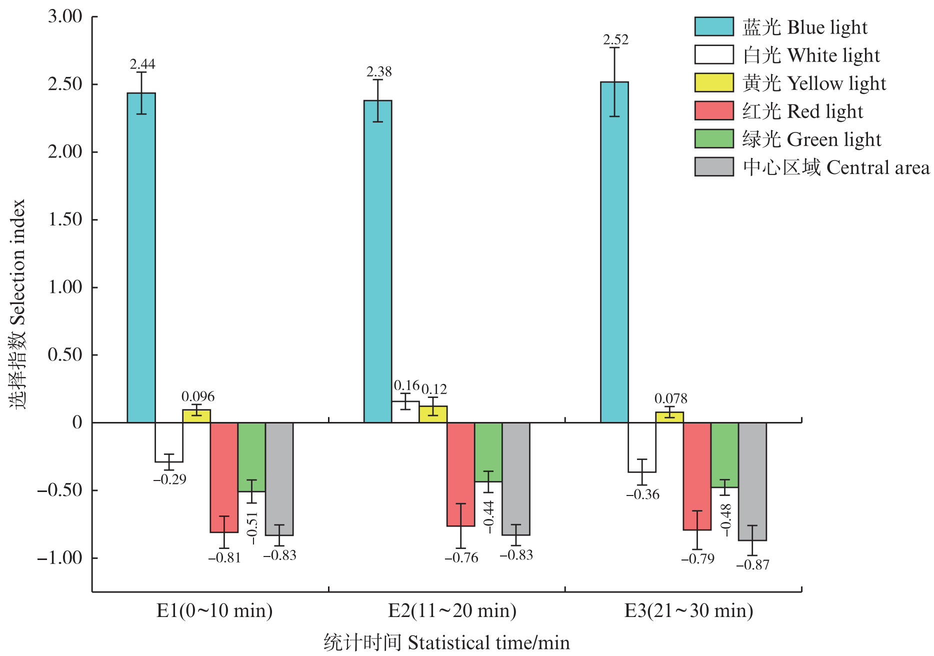
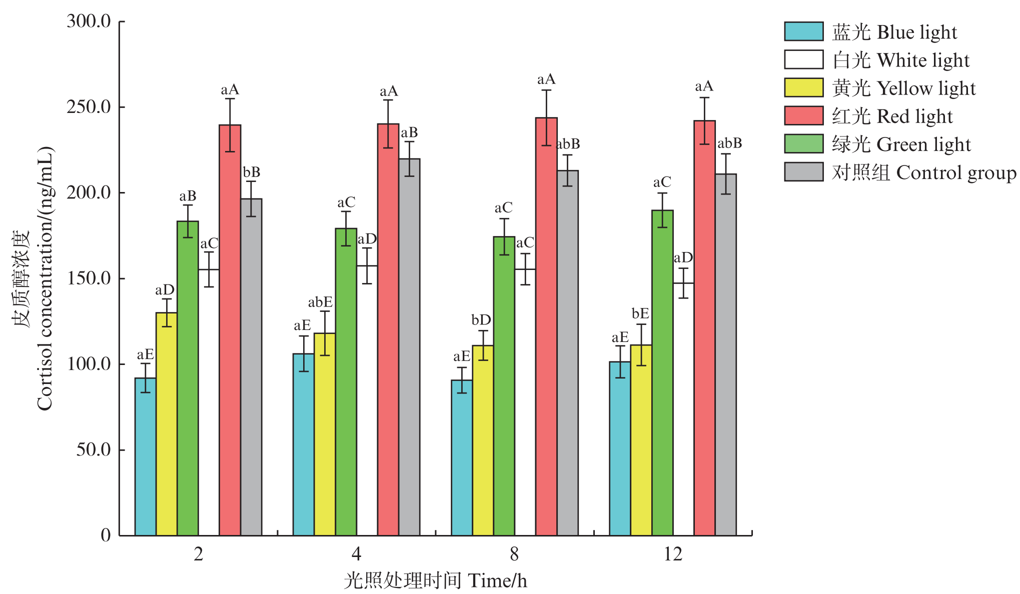


图4 群体许氏平鲉不同时间段的选择指数

Fig. 4 Selection index of the *Sebastes schlegelii* population at different time periods



图中标注的不同大写字母表示同一时间点不同光照颜色间存在显著性差异(P<0. 05),不同小写字母表示同一光照颜色不同时间点间存在显著性差异(P<0. 05)。

The different uppercase letters marked in the figure indicate significant differences between different lighting colors at the same time point (P<0. 05), while different lowercase letters indicate significant differences between same lighting color at the different time points (P<0. 05).

图5 不同光照颜色下许氏平鲉的血浆皮质醇(COR)浓度

Fig. 5 Plasma cortisol (COR) concentration of *Sebastes schlegelii* under different light colors

随着光照处理时间的延长,不同光照条件处理组内血浆COR浓度出现变化。在黄光下处理2 h的血浆COR浓度显著高于处理8和12 h(P<0.05),而与处理4 h无显著差异(P>0.05)。对照组条件处理2 h后,血浆COR浓度显著低于4 h处理(P<0.05),而与8和12 h处理无显著差异(P>0.05),血

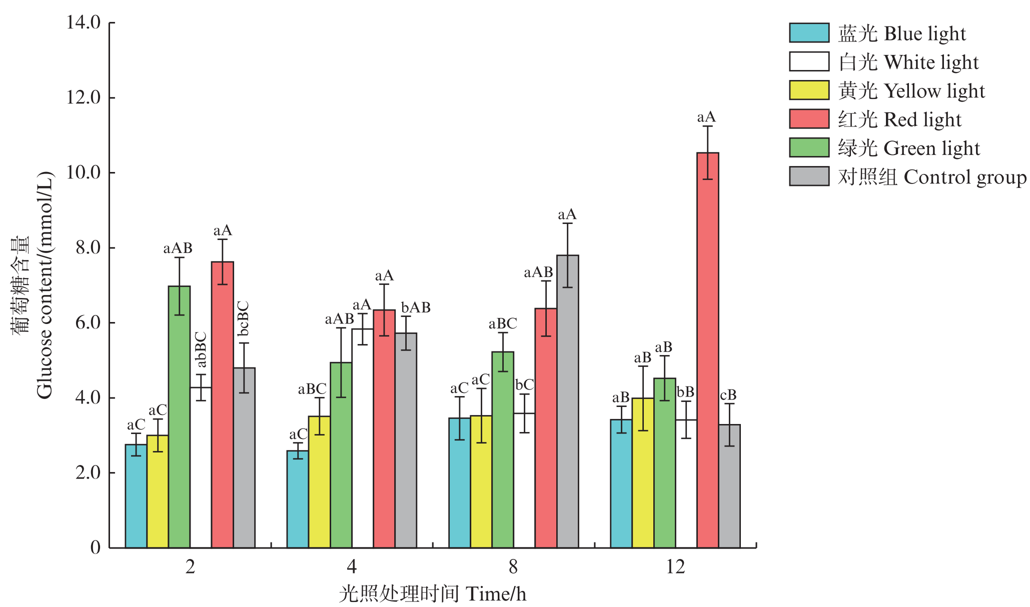
浆COR浓度呈先升高后缓慢降低的趋势。而经过不同时间的光照处理，蓝光、白光、绿光和红光组血浆COR浓度无显著差异（$P>0.05$）。

2.2.2　不同光照颜色对许氏平鲉血液生化指标的影响

不同光照颜色处理对许氏平鲉血浆中葡萄糖（GLU）含量的影响如图6所示，不同光照条件处理2 h后，红光组高于绿光组，但无显著差异（$P>0.05$），且两处理组显著高于黄光和蓝光处理组（$P<0.05$），而绿光组与白光和对照组处理间无显著差异（$P>0.05$）。不同光照条件处理4 h后，红光和白光组显著高于黄光和蓝光组（$P<0.05$），而与绿光和对照组无显著差异（$P>0.05$）。不同光照条件处理8 h后，红光组与绿光和对照组无显著差异（$P>0.05$），而显著高于其他各光照处理组（$P<0.05$）。不同光照条件处理12 h后，红光组显著高于其他各光照处理组（$P<0.05$），而其他各光照处理组间均无显著差异（$P>0.05$）。

经过不同时间的光照处理后，红光、绿光、黄光和蓝光组组内血浆中GLU含量无显著差异（$P>0.05$）。白光处理4 h后的GLU含量显著高于8和12 h（$P<0.05$），而与2 h的光照处理无显著差异（$P>0.05$），血浆中GLU含量呈现先缓慢升高而后降低趋于平稳的趋势。对照组中处理8 h的GLU含量显著高于其他处理时间（$P<0.05$），总体呈现先缓慢升高而后急剧降低的趋势。

不同光照条件对许氏平鲉血浆中谷草转氨酶（AST）和谷丙转氨酶（ALT）活力的影响如图7和图8所示，不同光照条件处理2 h后，对照组血浆中AST活力显著高于其他各光照颜色处理组（$P<0.05$），而对照组中ALT活力显著低于其他各光照颜色处理组（$P<0.05$），且其他各光照颜色处理组之间两种酶活力均无显著差异（$P>0.05$）。不同光照条件处理4 h后，绿光组AST活力最高，显著高于蓝光和对照组（$P<0.05$），但与黄光、红光和白光组差异不显著（$P>0.05$），而绿光组ALT活力显著低于其他各光照条件处理组（$P<0.05$），且其他各光照条件处理组之间无显著差异（$P>0.05$）。不同光照条件处理8 h后，对照组AST活力显著高于其他各光照处理组（$P<0.05$），其他各光照处理组之间无显著差异（$P>0.05$）。ALT活力在各光照处理组之间均无显著差异（$P>0.05$）。不同光照条件处理12 h后，蓝光组AST活力最低，显著低于绿光和红光组（$P<0.05$），而与其他各光照处理组无显著差异（$P>0.05$）。ALT活力红光组最高，且显著高于其他各光照处理组（$P<0.05$），而其他各光照处理组之间无显著差异（$P>0.05$）。

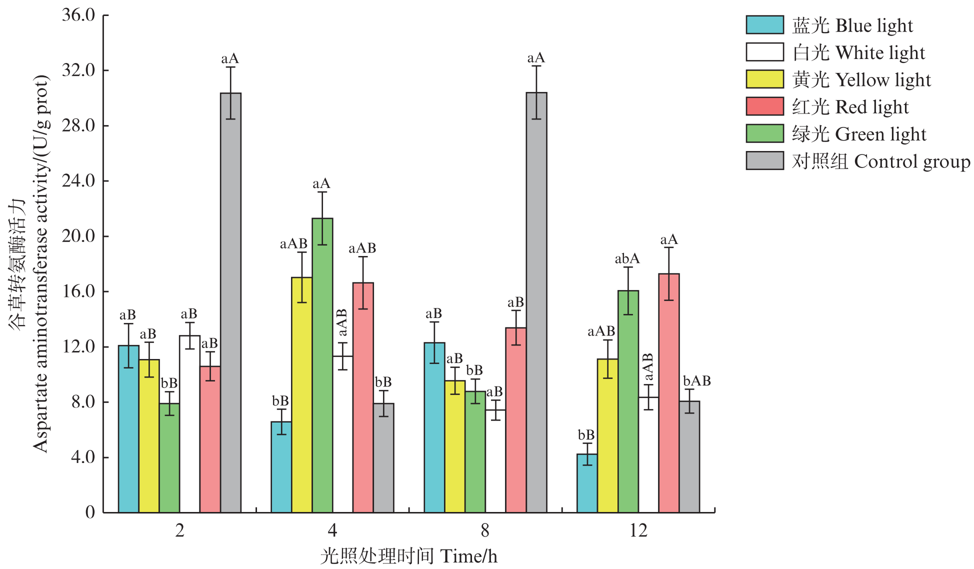


图中标注的不同大写字母表示同一时间点不同光照颜色间存在显著性差异（$P<0.05$），不同小写字母表示同一光照颜色不同时间点间存在显著性差异（$P<0.05$）。

The different uppercase letters marked in the figure indicate significant differences between different lighting colors at the same time point（$P<0.05$），while different lowercase letters indicate significant differences between same lighting color at the different time points（$P<0.05$）.

图6　不同光照颜色下许氏平鲉的血浆葡萄糖（GLU）含量

Fig. 6　Plasma glucose（GLU）content of *Sebastes schlegelii* under different light colors

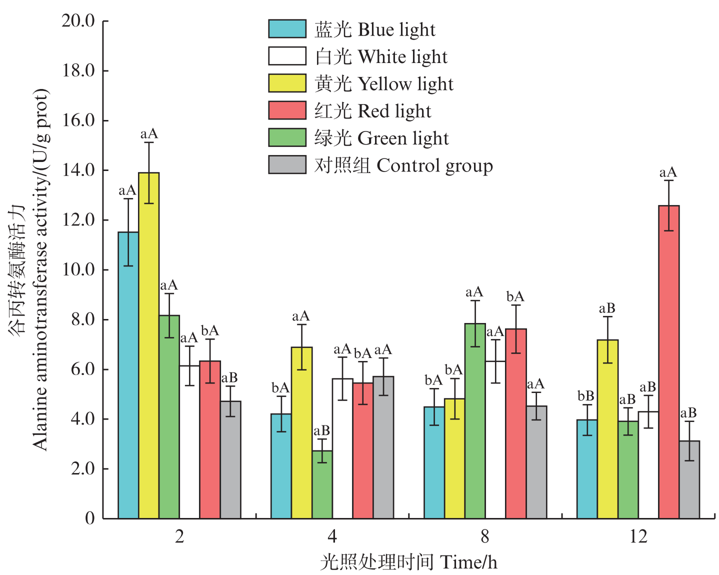


图中标注的不同大写字母表示同一时间点不同光照颜色间存在显著性差异(P<0.05),不同小写字母表示同一光照颜色不同时间点间存在显著性差异(P<0.05)。

The different uppercase letters marked in the figure indicate significant differences between different lighting colors at the same time point (P<0.05), while different lowercase letters indicate significant differences between same lighting color at the different time points (P<0.05).

图7　不同光照颜色下许氏平鲉的谷草转氨酶(AST)活力

Fig. 7　Activity of aspartate aminotransferase (AST) in the *Sebastes schlegelii* under different light colors



图中标注的不同大写字母表示同一时间点不同光照颜色间存在显著性差异(P<0.05),不同小写字母表示同一光照颜色不同时间点间存在显著性差异(P<0.05)。

The different uppercase letters marked in the figure indicate significant differences between different lighting colors at the same time point (P<0.05), while different lowercase letters indicate significant differences between same lighting color at the different time points (P<0.05).

图8　不同光照颜色下许氏平鲉的谷丙转氨酶(ALT)活力

Fig. 8　Activity of alanine aminotransferase (ALT) in the *Sebastes schlegelii* under different light colors

经过不同时间的光照处理,白光、黄光和红光组组内AST活力无显著差异(P>0.05),绿光、白光和对照组组内ALT活力无显著差异(P>0.05)。蓝光和对照组处理4和12 h的AST活力显著低于2和8 h(P<0.05),且两两之间无显著差异(P>0.05),AST活力均呈现先降低后升高而后再降低的趋势。绿光处理4 h后AST活力最高,显著高于2和8 h(P<0.05),与蓝光和对照组呈现相反的变化趋势。蓝光处理2 h后ALT活力显著高于其他处理时间(P<0.05),且4、8、12 h间无显著差异(P>0.05),整体上呈现先降低而后趋于平稳的趋势。红光处理12 h后ALT活力显著高于

处理2、4、8 h($P<0.05$),整体上呈现缓慢升高趋势。黄光处理8 h后ALT活力最低,显著低于其他处理时间($P<0.05$)。

2.3 不同光照颜色下许氏平鲉幼鱼行为和生理的相关性

通过对不同光照颜色下行为实验中选择指数与生理实验中皮质醇浓度、葡萄糖含量、谷草转氨酶和谷丙转氨酶活力等指标进行相关性分析发现,不同光照颜色下许氏平鲉行为与生理之间存在不同程度的相关性(表2)。个体的选择指数与葡萄糖含量存在显著负相关关系($P<0.05$),而与皮质醇浓度存在极显著负相关关系($P<0.01$)。群体的选择指数与皮质醇浓度和葡萄糖含量存在极显著负相关关系($P<0.01$),其中,群体选择指数与皮质醇浓度相关性最高,其次为葡萄糖浓度,相关系数分别为−0.776和−0.612。

表5　不同光照颜色下许氏平鲉行为和生理指标间的相关性分析

Tab. 5　Correlation analysis between the behavior and physiological indicators of the *Sebastes schlegelii* under different light colors

指标 Index	个体选择指数 Individual selection index	群体选择指数 Group selection index	皮质醇浓度 Cortisol concentration	葡萄糖含量 Glucose content	谷草转氨酶活力 Aspartate aminotransferase activity	谷丙转氨酶活力 Alanine aminotransferase activity
个体选择指数 Individual selection index	1					
群体选择指数 Group selection index	0.830**	1				
皮质醇浓度 Cortisol concentration	−0.606**	−0.776**	1			
葡萄糖含量 Glucose content	−0.511*	−0.612**	0.843**	1		
谷草转氨酶活力 Aspartate aminotransferase activity	−0.389	−0.413	0.410	0.350	1	
谷丙转氨酶活力 Alanine aminotransferase activity	−0.291	−0.103	0.109	0.268	0.053	1

注:**表示相关性极显著($P<0.01$),*表示相关性显著($P<0.05$)。

Notes: ** represents extremely significant correlation ($P<0.01$), and * represents significant correlation ($P<0.05$).

3 讨论

3.1 不同光照颜色对许氏平鲉幼鱼行为的影响

鱼类的趋光性是指鱼类对光刺激产生定向运动的特性,朝向光源的定向运动称为正趋光性,远离光源的定向运动称为负趋光性[17],人们常说的趋光性指的是正趋光性,即趋向光源、喜光的行为,如中上层鱼类鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鲐(*Scomber japonicus*)和鲣(*Katsuwonus pelamis*)等。鱼类偏好的光色可以吸引鱼类从一个已经适应的位置转移到一个新的位置,并且可长时间停留。不同鱼类对不同颜色的光敏感程度不同,喜好程度也不同。OLIVEIRA等[18]在测试斑马鱼环境颜色偏好时发现,斑马鱼在进行颜色选择时喜欢蓝色和绿色,而避开黄色和红色,与本实验中,群体许氏平鲉选择结果较为一致。

视觉是鱼类最主要的感觉功能之一,对鱼类的行为反应产生很大的影响,而鱼类的视网膜作为形成视觉的生理基础,发挥着重要作用。吴燕玲等[19]探究了5种光照颜色下对许氏平鲉视网膜形态的影响,结果发现许氏平鲉具有脊椎动物视网膜的所有结构且各层结构完整,蓝光条件下许氏平鲉各主要层厚度较高,视觉分辨能力较强,而红光条件下厚度较低影响了视觉分辨能力。SONG等[20]研究发现,绿光可以有效地降低金鱼视网膜损伤和压力,而红光会诱导视网膜损伤,最终可能会导致视网膜细胞凋亡。视网膜结构的完整性也证明了许氏平鲉对不同光照颜色具有选择性,这与本研究中群体对光照颜色的偏好选择结果相吻合,无论个体还是群体许氏平鲉对蓝光均表现为喜好,对红光均表现为回避。个体对光照颜色的偏好顺序为蓝光>绿光>白光>

黄光>红光,群体的偏好顺序为蓝光>黄光>白光>绿光>红光,个体和群体在对黄光和绿光的偏好选择上存在差异,在实验过程中,除光照颜色这一外界环境因子刺激外,许氏平鲉群体内部的个体之间存在信息交流,且个体之间存在差异性。在黄光和绿光条件下许氏平鲉神经细胞间相互作用更为复杂[19],鱼类群体内部个体之间生物信息的交流作用也是今后研究的重点。此外,其他外界环境也影响着鱼类对颜色的感知与偏好,如水温[21]、海水透明度(水色)等,且同种鱼类可能在不同发育阶段对光照颜色偏好选择结果截然不同[22],另外包括光照强度的选择[23]以及光周期的设定[24]都可能是使鱼类行为测试结果出现差异的原因。因此,未来研究应整合多方面的环境因素,以实现更精确和系统的研究。同时,应考虑鱼类特定的行为特征,开发高效且经济的养殖和捕捞策略。

3.2 不同光照颜色对许氏平鲉幼鱼生理的影响

目前光照颜色对鱼类生理研究主要集中在下丘脑-垂体-肾间组织轴(Hypothalamic-pituitary-interrenal, HPI)[25]的反应和由此产生的类固醇皮质激素和葡萄糖的变化等方面。其是由压力因素或应激源引起的一种状态,这种状态偏离了正常的节律或动态平衡状态[26-28]。从这个意义上说,压力本身是无法测量的,只能定量地确定对刺激的反应。选择测量血浆皮质醇来评估鱼的压力[29],原因在于它对应激源的反应相对容易测量,同时,它在影响鱼类健康的生理过程中具有重要意义,并能引发行为和生理上的连锁变化。如蓝光可以抑制尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)由于应激反应而引起的皮质醇增加[30]。OWEN等[31]通过观察丁鱥(*Tinca tinca*)的行为活动,测定血浆皮质醇反映其应激水平,发现蓝光和白光下降低了应激水平并增加了活跃程度。本实验中,在不同光照颜色条件下处理2、4、8和12 h后,从整体上看,同一时间不同光照颜色条件下许氏平鲉血浆皮质醇浓度具有显著差异,红光条件下血浆皮质醇浓度显著高于其他各光照颜色处理($P<0.05$),而蓝光条件下血浆皮质醇浓度最低,这是因为适宜的光照颜色可以抑制鱼类的应激反应。CHOI等[32]研究发现暴露于低温后,许氏平鲉生理应激指标明显升高,免疫参数明显降低等情况,但这些影响在暴露于绿光或蓝光后得到缓解。相似的是本实验中蓝光降低了许氏平鲉的应激水平,但许氏平鲉对红光的应激反应较大。LIU等[33]研究发现许氏平鲉在绿光、蓝光和白光照射环境下具有较高的酶活性及稳定性,在红光环境下的多种类酶活性较低且幼鱼受到的应激压力较大,这与本实验的研究结果较为一致。葡萄糖(GLU)作为能量来源,维持鱼类的生命活动,还可以在鱼类体内合成脂肪和蛋白质等物质。当鱼类处于应激状态时,体内释放一些激素影响葡萄糖的代谢和利用,导致血液中葡萄糖含量升高。本实验中蓝光、黄光和绿光条件下葡萄糖含量在整个实验期间内无显著变化,保持较为稳定的状态,而红光条件下葡萄糖含量高于其他光照条件下($P>0.05$),这可能是由于红光环境下许氏平鲉保持较高的活跃状态所导致的。AST和ALT是2种常见的肝功能酶,它们主要存在于肝脏细胞中。当肝脏受到损伤或疾病影响时,这些酶会释放到血液中,导致其浓度升高[34]。鱼类对环境应激反应的最终结果是导致其血液中各项生理指标的变化,且许多生理指标变化是脉冲式的[35],本实验中AST和ALT活力也呈现类似的变化规律。5种光照颜色下许氏平鲉血浆皮质醇浓度和葡萄糖含量具有显著差异,但光照颜色对血浆中AST和ALT活力影响并不明显,说明本实验设置的光照颜色处理时间对许氏平鲉肝脏等器官影响较弱,本研究对许氏平鲉光照处理时长为12 h,而更长时间的光照颜色处理以及对许氏平鲉其他生理生化指标的影响有待进一步研究。

3.3 不同光照颜色下许氏平鲉幼鱼行为和生理之间的相互影响

鱼类行为是各种生理现象在外部表现的综合结果[8]。ZHANG等[36]的研究得出物理富集环境下显著降低了许氏平鲉的攻击频率和自发活动,并与生理相结合,提出了一种新的鱼类行为可塑性调控途径,即环境刺激-社会互动-HPI轴-皮质类固醇受体系统-神经-适应性相关行为。为探究光照颜色对许氏平鲉幼鱼行为和生理影响,进一步揭示不同光照颜色对许氏平鲉行为和生理之间的相互影响规律。通过相关性分析行为的偏好选择指数和各项生理指标发现,不同光照颜色下许氏平鲉行为与生理之间存在不同程度

的相关性,个体和群体的偏好选择行为与生理上皮质醇浓度和葡萄糖含量呈现显著的负相关关系,而与谷草和谷丙转氨酶活力相关性不显著。许氏平鲉血浆皮质醇浓度和葡萄糖含量在蓝光条件下较低,红光条件下较高,这也表明蓝光条件下应激反应较小,而红光条件下应激强烈,行为上表现为对蓝光喜好,对红光回避。通过本实验行为和生理研究发现,在增养殖过程中可将光照颜色环境调整为蓝光,而避免红光。有研究发现,与红光和黄光相比,蓝光、绿光和白光对许氏平鲉幼鱼的肌肉营养品质稍有改善[37]。因此,在实际养殖生产过程中,优化养殖条件时可综合多方面因素考量,使许氏平鲉处于稳定的生理状态,增强鱼体消化吸收能力和免疫力,提高鱼类福利和生产效率。

参考文献:

[1] 周显青, 牛翠娟, 李庆芬. 光照对水生动物摄食、生长和存活的影响[J]. 水生生物学报, 2000, 24(2): 178-181.
ZHOU X Q, NIU C J, LI Q F. Effects of light on feeding behavior, growth and survival of aquatic animals[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2000, 24(2): 178-181.

[2] 许传才, 伊善辉, 陈勇. 不同颜色的光对鲤的诱集效果[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(1): 20-23.
XU C C, YI S H, CHEN Y. Attraction of different colors of light to common carp *Cyprinus carpio*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2008, 23(1): 20-23.

[3] 巩建华, 郭春阳, 田喆, 等. 红鲫鱼对环境颜色及光强的趋向性研究[J]. 生物学杂志, 2016, 33(5): 13-18.
GONG J H, GUO C Y, TIAN Z, et al. Study on the selectivity of *Carassius auratus* under different environment colors and luminous intensities[J]. Journal of Biology, 2016, 33(5): 13-18.

[4] 邓青燕, 卢克祥, 钱卫国, 等. 单色光对斑马鱼趋光行为的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2020, 40(6): 27-34.
DENG Q Y, LU K X, QIAN W G, et al. Effects of monochromatic light on phototaxis behavior of zebrafish (*Danio rerio*)[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2020, 40(6): 27-34.

[5] LUCHIARI 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.

[6] SARDO G, OKPALA C O R, GERACI M L, et al. The effects of different artificial light wavelengths on some behavioural features of juvenile pelagic Atlantic horse mackerel, *Trachurus trachurus* (Actinopterygii: Perciformes: Carangidae)[J]. Acta Ichthyologica et Piscatoria, 2020, 50(1): 85-92.

[7] 赵鑫, 李丽, 董双林, 等. LED光色及注射褪黑素对虹鳟抗氧化酶活性及相关激素含量的影响[J]. 水产学报, 2021, 45(1): 44-54.
ZHAO X, LI L, DONG S L, et al. Effects of LED colors and melatonin treatment on antioxidant enzyme activities and relevant hormone concentrations of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(1): 44-54.

[8] 刘晓, 黄六一, 刘长东, 等. 光照颜色对虹鳟行为反应、血浆皮质醇和生化指标的影响[J]. 水产学报, 2021, 45(5): 740-747.
LIU X, HUANG L Y, LIU C D, et al. Effects of light colors on behavior response, plasma cortisol and biochemical indexes of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(5): 740-747.

[9] CHOI C Y, SHIN H S, CHOI Y J, et al. Effect of LED light spectra on starvation-induced oxidative stress in the cinnamon clownfish *Amphiprion melanopus*[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2012, 163(3/4): 357-363.

[10] 张波, 李忠义, 金显仕. 许氏平鲉的食物组成及其食物选择性[J]. 中国水产科学, 2014, 21(1): 134-141.
ZHANG B, LI Z Y, JIN X S. Food composition and prey selectivity of *Sebastes schlegeli*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(1): 134-141.

[11] YU H L, FENG J, ZHAO W, et al. Evaluation of the residency of black rockfish (*Sebastes schlegelii*) in artificial reef areas based on stable carbon isotopes[J]. Sustainability, 2024, 16(5): 2115.

[12] LI J J, LI J, GONG P H, et al. Effects of the artificial reef and flow field environment on the habitat selection behavior of *Sebastes schlegelii* juveniles[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2021, 245: 105492.

[13] 王婕, 张佳, 张旭, 等. 不同流速对许氏平鲉生长及行为的影响[J]. 水生生物学报, 2023, 47(6): 973-981.
WANG J, ZHANG J, ZHANG X, et al. Flow velocity on growth and behavior in black rockfish (*Sebastes schlegelii*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2023, 47(6): 973-981.

[14] LYU L, WEN H S, LI Y, et al. Deep transcriptomic analysis of black rockfish (*Sebastes schlegelii*) provides new insights on responses to acute temperature stress[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 9113.

[15] GUO H Y, ZHANG X M, JOHNSSON J I. Effects of size distribution on social interactions and growth of juvenile black rockfish (*Sebastes schlegelii*)[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2017, 194: 135-142.

[16] 卢克祥, 许柳雄, 邓青燕. 不同光照条件对斑马鱼趋光

行为的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(3): 792-800.

LU K X, XU L X, DENG Q Y. Effects of different light conditions on phototactic behavior of Zebrafish[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(3): 792-800.

[17] 俞文钊. 鱼类的趋光行为研究[J]. 心理科学通讯, 1981(2): 9-15.

YU W Z. Investigations on the phototactic behaviour of fishes[J]. Psychological Science Communication, 1981(2): 9-15.

[18] OLIVEIRA J, SILVEIRA M, CHACON D, et al. The zebrafish world of colors and shapes: preference and discrimination[J]. Zebrafish, 2015, 12(2): 166-173.

[19] 吴燕玲, 孙飞, 蔡皓玮, 等. LED光谱对许氏平鲉视网膜形态的影响[J]. 海洋科学, 2023, 47(9): 71-80.

WU Y L, SUN F, CAI H W, et al. Effect of the LED spectrum on retinal morphology of *Sebastes schlegelii*[J]. Marine Sciences, 2023, 47(9): 71-80.

[20] SONG J A, KIM N N, CHOI Y J, et al. Effect of green light spectra on the reduction of retinal damage and stress in goldfish, *Carassius auratus*[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2016, 476(2): 96-101.

[21] 张旭, 张佳, 王婕, 等. 温度和光照周期对硬头鳟幼鱼生长、生理及行为的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2023, 38(2): 251-258.

ZHANG X, ZHANG J, WANG J, et al. Effects of temperature and photoperiod on growth, physiology and behavior of juvenile steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2023, 38(2): 251-258.

[22] 肖炜, 李大宇, 杨弘, 等. 奥利亚罗非鱼在光场中的行为反应研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(26): 105-109.

XIAO W, LI D N, YANG H, et al. Studies on the behavioral response of blue tilapia (*Oreochromis aureus*) in optical field[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(26): 105-109.

[23] MATSUMOTO T, IHARA H, ISHIDA Y, et al. Spectral sensitivity of juvenile chub mackerel (*Scomber japonicus*) in visible and ultraviolet light[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2010, 36(1): 63-70.

[24] ALMAZÁN-RUEDA P, VAN HELMOND A T M, VERRETH J A J, et al. Photoperiod affects growth, behaviour and stress variables in *Clarias gariepinus*[J]. Journal of Fish Biology, 2005, 67(4): 1029-1039.

[25] FLIK G, KLAREN P H M, VAN DEN BURG E H, et al. CRF and stress in fish[J]. General and Comparative Endocrinology, 2006, 146(1): 36-44.

[26] BAEKELANDT S, MANDIKI S N M, SCHMITZ M, et al. Influence of the light spectrum on the daily rhythms of stress and humoral innate immune markers in pikeperch *Sander lucioperca*[J]. Aquaculture, 2019, 499: 358-363.

[27] JUNG S J, KIM N N, CHOI Y J, et al. Effects of melatonin and green-wavelength LED light on the physiological stress and immunity of goldfish, *Carassius auratus*, exposed to high water temperature[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2016, 42(5): 1335-1346.

[28] DONALDSON M R, COOKE S J, PATTERSON D A, et al. Cold shock and fish[J]. Journal of Fish Biology, 2008, 73(7): 1491-1530.

[29] HEAD A B, MALISON J A. Effects of lighting spectrum and disturbance level on the growth and stress responses of yellow perch *Perca flavescens*[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2000, 31(1): 73-80.

[30] VOLPATO G L, BARRETO R E. Environmental blue light prevents stress in the fish Nile tilapia[J]. Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 2001, 34(8): 1041-1045.

[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] CHOI C Y, KIM T H, CHOI Y J, et al. Effects of various wavelengths of light on physiological stress and non-specific immune responses in black rockfish *Sebastes schlegelii* subjected to water temperature change[J]. Fisheries Science, 2017, 83(6): 997-1006.

[33] LIU S T, CAI H W, LIU Y, et al. Effects of LED spectra on the growth and physiological mechanism of juvenile *Sebastes schlegelii*. Part I: growth, feeding and digestion and metabolism[J]. Aquaculture, 2024, 580: 740295.

[34] 成智丽, 孙鹏飞, 罗珺, 等. 盐度驯化下许氏平鲉血清生化指标及渗透压的变化[J]. 水产科学, 2021, 40(3): 310-317.

CHENG Z L, SUN P F, LUO J, et al. Changes in serum bochemical profiles and osmotic pressure of Schlegel's black rockfish *Sebastes schlegelii* acclimatized by various salinities[J]. Fisheries Science, 2021, 40(3): 310-317.

[35] 李宝山, 孙永智, 王世信, 等. 日光照周期对大菱鲆幼鱼摄食、消化酶活力与血清激素含量的影响[J]. 水生生物学报, 2019, 43(1): 69-77.

LI B S, SUN Y Z, WANG S X, et al. Effects of daily photoperiod on feed consumption, digestive enzyme activities and blood hormone of turbot *Scophthalmus maximus* L. juveniles[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(1): 69-77.

[36] ZHANG Z H, CHEN Q K, GUAN X T, et al. Physical and social enrichment influences the adaptability-related behaviors of black rockfish *Sebastes schlegelii*: an effect mediated by social behaviors, HPI axis and neurogenesis[J]. Aquaculture, 2023, 564: 739056.

[37] 孙飞，吴燕玲，蔡皓玮，等．不同LED光谱环境对许氏平鲉幼鱼肌肉营养成分与品质的影响[J]．动物营养学报，2022，34(8)：5328-5341.
SUN F，WU Y L，CAI H W，et al. Effects of different LED spectral environments on muscle nutritional composition and quality of juvenile *Sebastes schlegeli*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition，2022，34(8)：5328-5341.

Effect of light color on the behavior and physiology of juvenile *Sebastes schlegelii*

ZHANG Yutian[1]，TIAN Tao[1,2]，YU Xiaoming[1,2]，WU Zhongxin[1,2]，LI Qingxia [1,2]，GAO Dongkui[1,2]
（1. *Center for Marine Ranching Engineering Technology Research of Liaoning*，*Dalian Ocean University*，*Dalian* 116023，*Liaoning*，*China*；2. *Key Laboratory of Environment Controlled Aquaculture*，*Ministry of Education*，*Dalian* 116023，*Liaoning*，*China*）

Abstract: To investigate the effects of light color on the behavior and physiology of juvenile *Sebastes schlegelii*，the behavioral responses of individuals and populations of *Sebastes schlegelii* were studied under five different light colors. Five color light zones，including white，red，yellow，green，and blue，were set up in the experimental water tank to record the behavioral responses of individuals and populations. At the same time，samples were taken and analyzed for plasma cortisol（COR）concentration，glucose（GLU）content，aspartate aminotransferase（AST）and alanine aminotransferase（ALT）activity at 2，4，8，and 12 hours after the start of the experiment. The results showed that *Sebastes schlegelii* had a certain preference for light color. The proportion of residence time of individual *Sebastes schlegelii* under different light colors was blue light 22.08%，green light 20.55%，white light 17.59%，yellow light 15.04%，and red light 15.03%，respectively. Blue light was significantly higher than yellow and red light，and there was no significant difference between green light，white light，yellow light，and red light. The aggregation rate of *Sebastes schlegelii* in the group was blue light 57.33%，yellow light 15.05%，white light 13.10%，green light 8.49%，and red light 3.89%，respectively. Blue light was significantly higher than the other four light colors，while red light was significantly lower than yellow and white light，and there was no significant difference compared to green light. Both individuals and groups showed a preference（positive trend）for blue light and an avoidance（negative trend）for red light，while their preference for yellow，white，and green light was not significant. There was a significant difference in plasma cortisol concentration among the 5 different light color conditions，with blue light being the lowest，followed by yellow light，white light，and green light，and red light being the highest. There was no significant difference in glucose content in plasma under blue，yellow，and green light conditions，while glucose content was higher under red light conditions. The effects of the five light colors on AST and ALT activity in plasma were not significant. Research showed that the color of light had a certain impact on the behavior and physiology of *Sebastes schlegelii*，and there was a significant negative correlation between preference selection behavior and stress physiology and metabolic levels. The *Sebastes schlegelii* exhibited a preference for blue light in behavior，lower plasma cortisol and glucose levels in physiology，avoidance of red light，and higher plasma cortisol and glucose levels in physiology.

Key words: *Sebastes schlegelii*；light color；behavior；physiology