

光唇鱼群体对不同 LED 单色光谱选择偏好性的昼夜差异

顾志刚¹, 黄宇雯¹, 鲁纪纲¹, 李裕强¹, 王汉平² (1. 浙江师范大学化学与生命科学学院, 浙江省野生动物生物技术与保护利用重点实验室, 浙江金华 321004; 2. 美国俄亥俄州立大学南方研究中心, 鱼类生理生化和遗传育种实验室, 美国俄亥俄州 45661)

摘要 为探究光唇鱼对光色的偏好性以及这种偏好性是否存在昼夜差异, 利用行为学方法分析比较了光唇鱼鱼群在黑暗以及白、红、黄、绿、蓝光 5 种 LED 单色光照明环境下的趋集率。结果表明, 日间光唇鱼最受蓝光吸引, 白光和绿光次之, 而黄光对其具有趋避作用 ($P < 0.05$), 夜间蓝光对光唇鱼最具吸引力, 其次为白光和绿光, 红光和黄光下的趋集率最低, 且该鱼夜间对蓝光的偏好性较日间更为明显。总之, 短波光尤其是蓝光能够吸引光唇鱼群体, 说明存在明确的光谱偏好性且这种偏好性存在一定的昼夜差异。

关键词 光唇鱼; 鱼群; LED; 单色光谱; 偏好性

中图分类号 S917.4 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)01-0099-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.01.031

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Day-night Difference of Preference of *Acrossocheilus fasciatus* Population to LED Monochromatic Spectrum

XIE Zhi-gang, HUANG Yu-wen, LU Ji-gang et al (Zhejiang Provincial Key Laboratory of Biotechnology and Protective Utilization of Wild Animals, College of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004)

Abstract In order to explore the light colour preference and whether there is a day-night difference in the preference of *Acrossocheilus fasciatus*, the aggregation rate of *A. fasciatus* population in dark and under 5 kinds of LED monochromatic spectra environment (including white, red, yellow, green and blue lights) were compared by using behavior method. The results showed that, in the daytime, *A. fasciatus* population had an obvious preference to blue light, the next was white or green light, and there was an obvious avoiding effect of yellow light on the fish ($P < 0.05$). The blue light was the most attractive to *A. fasciatus* in night, the next was white or green light, and the aggregation rate under red or yellow light were the lowest. The preference of *A. fasciatus* to blue light in night exceeded that in the daytime. In sum, short-wavelength light, especially blue light, is attractive to *A. fasciatus*, which suggested that *A. fasciatus* had a definite spectral preference with a diurnal bias.

Key words *Acrossocheilus fasciatus*; Fish population; LED; Monochromatic spectrum; Preference

光照对鱼类的行为、生长、生理等起着重要的调节作用。大部分鱼类能够区分光的颜色, 并对特定颜色的光谱做出行为和生理反应。硬骨鱼类视网膜上存在具有特定光谱反应的光敏感视锥细胞, 这些细胞内存在长波光、中波光、短波光以及紫外光 4 种视锥色素蛋白^[1], 但每种视蛋白的吸收峰存在较大的物种差异。如金鱼 (*Carassius auratus*) 视锥色素蛋白在 620、540、440、360 nm 处存在最大吸收峰^[2], 而条纹鲈 (*Morone saxatilis*) 在 542 和 605 nm 存在最大吸收峰^[3]。白艳勤等^[4]研究表明鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 更偏好栖息于白光和蓝光环境。豹纹棘刺鲈 (*Plectropomus leopardus*) 幼鱼不喜欢蓝光和白光环境, 而对红光、黄光和绿光更具偏好性^[5]。然而, 有些鱼类对光色似乎不存在偏好性, 如瓦氏黄颡鱼 (*Pelteobagrus vachelli*) 对光色反应不明显^[4]。因此, 鱼类对光谱的偏好性存在较大的物种差异。

发光二极管(light emitting diodes, LED)照明技术具有波长可控、节能、环保、耐用等优点, 可提供比传统照明系统更有效的光系统, 已成为主流照明技术的发展趋势。在水产养殖中, 尤其是在全封闭工厂化循环水养殖模式下, 通过光谱操作以优化照明条件可以改善养殖鱼类的福利, 从而提高养殖成效。

光唇鱼 (*Acrossocheilus fasciatus*) 隶属鲤形目鲃亚科光唇鱼属, 因体侧具有黑色条纹, 俗称“溪石斑鱼”, 是我国浙江、安徽等地山区溪流的常见种或优势种, 也是溪钓的主要渔获物, 且因其肉质鲜美已成为一种颇具地方特色的养殖鱼类,

受到广大消费者的喜爱。光唇鱼喜集群游动, 夜间或越冬期躲藏于石洞或石缝内休憩。据此推测该鱼长期生存在溪流高透明度水体中对光谱的敏感性较高, 而且这种光谱敏感性可能与昼夜活动节律有关。笔者研究了光唇鱼群体对不同 LED 单色光谱的选择偏好性以及这种偏好性是否存在昼夜差异, 旨在为工厂化养殖改善鱼类福利以及改进渔业光诱捕技术提供技术参考和科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验鱼与驯化 该试验所用光唇鱼购自浙江省遂昌县某渔场, 运输至实验室后驯养于全封闭循环水系统中。循环水养殖系统水质指标如下: 溶解氧大于 7.0 mg/L, pH 7.0~7.5, 总氨氮含量小于 0.5 mg/L, 亚硝酸盐含量小于 0.05 mg/L。水温 (23±1) °C, 以荧光灯作为光源, 将光周期控制在 12L:12D (照明时间为 07:00-19:00), 驯化时间为 14 d。驯化期间每天 07:30 和 17:30 投喂某品牌商品化饲料 (蛋白质大于 40%, 粗脂肪大于 4%), 日投喂量为体重的 2%~3%。试验前禁食 24 h, 挑选 60 尾健康、体重相近的光唇鱼亚成体 [体重 (5.6±1.4) g, 体长 (8.2±0.5) cm] 作为试验对象^[6]。

1.2 试验装置 光谱选择装置主要由水槽系统、单色光源及红外摄像机组成。水槽系统采用灰色 PP 板材焊接而成^[6], 6 块隔板将桶状水槽 ($\varphi = 80$ cm, $H = 60$ cm) 等分成 6 个区域, 隔板底部留一个长方形空隙 (10 cm×8 cm) 供鱼自由通过 (图 1)。6 个区域上方可随机提供 6 种照明环境, 包括白、红、黄、绿、蓝光 LED 单色光照明及黑暗。LED 灯的光谱组成 (图 2) 经光谱分析仪 (中国台湾 UPRtek MK350N) 测定。调整灯距水面的高度, 使辐照强度为 40 mW/m²。2 个红外

基金项目 浙江省公益技术应用研究计划国际合作项目 (2017C34006)。

作者简介 顾志刚 (1978—), 男, 河北张家口人, 副教授, 博士, 从事动物生理生态研究。

收稿日期 2019-06-13; **修回日期** 2019-06-26

摄像头置于水槽系统上方,利用遮光布阻挡外界光线干扰。

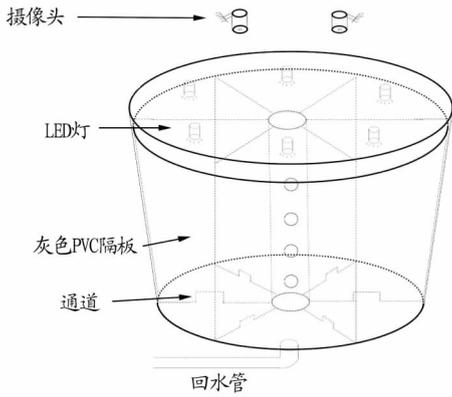


图1 光唇鱼群体单色光偏好性测试装置效果图

Fig. 1 The effect diagram for the experimental device to test monochromatic spectrum preference of *Acrossocheilus fasciatus* population

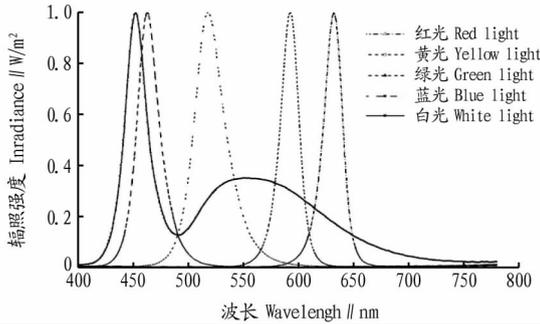
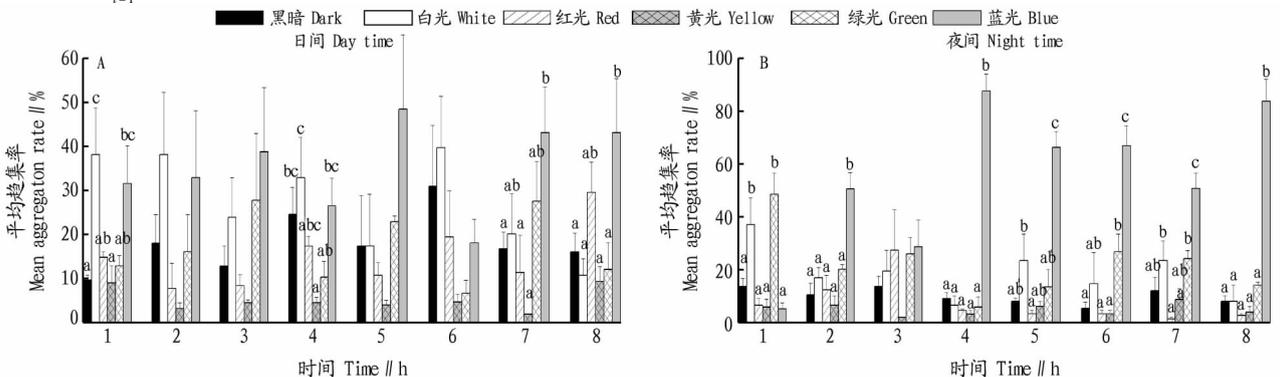


图2 不同单色光LED灯光谱组成分析

Fig. 2 The composition analysis of different light-emitting diode (LED) monochromatic spectra

1.3 试验方法 试验分别在日间(09:00—17:00)和夜间(21:00—次日05:00)进行。测试前先将鱼暗适应20 min,然后开启光源,利用红外摄像机进行记录,每次连续记录8 h,重复3次。通过回放录像每隔20 min统计鱼在各个区域出现的数量^[6],计算趋集率(aggreaton rate, η),计算公式^[7-8]如下:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^m nt}{\sum_{i=1}^m Ni} \times 100\%$$



注:同一时间段内标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters at the same time indicated significant differences ($P < 0.05$)

图3 光唇鱼群体在不同时间段内各单色光谱下的平均趋集率

Fig. 3 The average aggregation rate of *A. fasciatus* population under different monochromatic spectra in different time phases

式中, $\sum_{i=1}^m nt$ 表示某区域出现光唇鱼的总数(在1 h的观察期间,每20 min记录1次出现在该区域的光唇鱼数量,总计3次,即 $m=3$); $\sum_{i=1}^m Ni$ 表示6个区域出现的光唇鱼总数(在1 h的观察期内,每20 min统计1次6个区域出现光唇鱼的总数,总计3次,即 $m=3$)。试验期间禁食,测试前后水槽系统内水质、溶解氧含量无明显变化。日间和夜间试验间隔期换水,水温、水质与驯化期相同。

1.4 数据统计与分析 采用SPSS 21统计软件对试验数据进行统计与分析,使用单因素方差分析(One-way ANOVA)比较不同光照下趋集率的差异,采用Duncan法进行多重比较。数据以平均值 \pm 标准误表示, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 日间光谱偏好性 光唇鱼在开灯瞬间表现出惊愕反应,会沿迁移通道向一个方向迅速移动,一段时间后游泳速度开始变慢,群集行为开始清晰。第1个小时内在白光和蓝光下的趋集率显著高于其他区域($P < 0.05$)(图3A)。在第4个小时内黑暗区域以及白光、蓝光区域的趋集率均显著高于黄光区域,在第7个小时内蓝光区域的趋集率显著高于黑暗、红光和黄光区域($P < 0.05$),第8个小时内蓝光区域的趋集率显著高于除红光外的其他区域($P < 0.05$)。总之,日间蓝光对光唇鱼具有最强的吸引作用,白光和绿光次之,而黄光对其具有趋避作用。

2.2 夜间光谱偏好性 夜间与日间相似,初期鱼群同样表现出惊愕反应。第1个小时内白光和绿光的趋集率显著高于其他区域($P < 0.05$)(图3B);随着时间的推移,大部分时间段内蓝光区域的趋集率显著高于其他区域($P < 0.05$);第5个小时蓝光区域的趋集率显著高于白光区域,且白光和蓝光区域的趋集率显著高于黄光区域($P < 0.05$);第6个小时内蓝光区域的趋集率显著高于其他区域($P < 0.05$),且绿光区域显著高于黑暗、红光和黄光区域($P < 0.05$)。总体来看,夜间蓝光对光唇鱼最具吸引力,其次为白光和绿光,而红光和黄光区域的趋集率最低,且该鱼夜间对蓝光的偏好性较日间更为明显。

3 讨论

水体和陆地光环境存在极大的差异,这是由于进入水中的光线会在水下进一步发生散射,光谱组成会随着水深的增加而发生明显的变化^[9-10],其中短波光(如蓝光、绿光等)的穿透能力最强,长波光(如红光等)则仅能穿透相对较浅水域^[11-12],但短波光首先会被水中色素和悬浮颗粒快速吸收与分散而减弱,反而长波光的穿透能力相对变强^[9]。因此,生活在不同水层或不同浑浊程度水体中的鱼类可能对不同波长的光谱产生适应性进化,如部分深海鱼类的视蛋白在相对较短光波范围(468~494 nm)内具有最大吸收峰^[13]。虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)具有对长波长光更为敏感的视蛋白,而这可能与清澈的淡水允许长波长的光穿透有关^[14]。银鲈(*Bidyanus bidyanus*)和金鲈(*Macquaria ambigua*)对黄-橙光最为敏感,推测这 2 种鱼生活在澳大利亚海域浑浊的水体内,这种水体以黄色和橙色光为主要光谱成分^[15]。溪流水环境特点是水浅且水体高透明度高,水下光强衰减和光谱组成变化不明显,因此光唇鱼作为典型的溪流性鱼类,在长期进化中其视觉系统视色素蛋白类型可能较多,且区分光谱变化的能力也较强。该研究中光唇鱼对蓝光产生明显的选择偏好,且夜间表现得更加明显。短波光(如蓝、绿光)的能量最强,在水中穿透力也强,而且短波光昼夜变化的幅度也最大,因此推测某些鱼类优先以这类短波光作为昼夜活动的光节律信号,可被其吸引并表现出兴奋性,而且这种表现在夜间会更加明显。此外,该研究中光唇鱼对白光的偏好程度仅次于蓝光。通过对白光 LED 灯的光谱进行分析发现,其光谱组成在 452 nm(蓝紫色)和 551 nm(绿色)处具有 2 个峰,这可以帮助解释该鱼对 LED 白光具有偏好性的原因。

某些波段光谱可引起鱼类机体产生应激反应^[16-17],而有些特定光谱则可以改善鱼类的应激状态,但存在物种差异。该研究中光唇鱼偏好于蓝光区,而对长波光尤其是黄光产生回避,推测蓝光可能具有缓解应激的作用,而黄光可能具有相反的作用。研究表明,蓝光照射可引起虹鳟的应激^[18];绿光可以显著提高克林雷氏鲶(*Rhamdia quelen*)皮质醇水平^[19];蓝光可以降低尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)胁迫水平^[20];黄光不仅可以促进虹鳟生长和提高饲料转化率,而且能降低其皮质醇水平^[21]。因此,在水产养殖过程中进行合理的光谱操作有助于改善鱼类的福利状态,从而提高养殖成效。

参考文献

[1] LOSEY G S, CRONIN T W, GOLDSMITH T H, et al. The UV visual world

- of fishes: A review[J]. *Journal of fish biology*, 1999, 54(5): 921-943.
- [2] MARKS W B. Visual pigments of single goldfish cones[J]. *Journal of physiology*, 1965, 178(1): 14-32.
- [3] MILLER J L, KORENBROT J I. In retinal cones, membrane depolarization in darkness activates the cGMP-dependent conductance. A model of Ca homeostasis and the regulation of guanylate cyclase[J]. *Journal of general physiology*, 1993, 101(6): 933-960.
- [4] 白艳勤, 王雪, 刘德富, 等. 瓦氏黄颡鱼和鲢对光照强度和颜色的选择[J]. *水生生物学报*, 2014, 38(2): 216-221.
- [5] 吴亮, 吴洪喜, 陈婉情, 等. 光环境因子对豹纹鳃棘鲈幼鱼栖息特性的影响[J]. *水产科学*, 2016, 35(1): 14-20.
- [6] 鲁纪刚. 特定波段光谱对光唇鱼(*Acrossocheilus fasciatus*)行为、生长、性腺发育及氧化防御能力的影响[D]. 金华: 浙江师范大学, 2018.
- [7] WEI H, LI H D, XIA Y, et al. Effects of light intensity on phototaxis, growth, antioxidant and stress of juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. *Aquaculture*, 2019, 501: 39-47.
- [8] 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): 32-23.
- [9] DOUGLAS R H. The eyes of fishes[J]. *Journal of anatomy*, 1989, 167: 244.
- [10] LYTHGOE J N. The ecology of vision [M]. Oxford: Oxford University Press, 1979.
- [11] LYTHGOE J N, MUNTZ W R A, PARTRIDGE J C, et al. The ecology of the visual pigments of snappers (*Lutjanidae*) on the Great Barrier Reef [J]. *Journal of comparative physiology A*, 1994, 174(4): 461-467.
- [12] MACNEIL M A, GRAHAM N A J, CINNER J E, et al. Recovery potential of the world's coral reef fishes[J]. *Nature*, 2015, 520(7547): 341-344.
- [13] DOUGLAS R H, PARTRIDGE J C, MARSHALL N J. The eyes of deep-sea fish. I; Lens pigmentation, tapeta and visual pigments[J]. *Progress in retinal & eye research*, 1998, 17(4): 597-636.
- [14] HAWRYSHYN C W, HÁROSI F I. Spectral characteristics of visual pigments in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Vision research*, 1994, 34(11): 1385-1392.
- [15] GEHRKE P C. Influence of light intensity and wavelength on phototactic behaviour of larval silver perch *Bidyanus bidyanus* and golden perch *Macquana ambigua* and the effectiveness of light traps[J]. *Journal of fish biology*, 1994, 44(5): 741-751.
- [16] BAPARY M A J, AMIN M N, TAKEUCHI Y, et al. The stimulatory effects of long wavelengths of light on the ovarian development in the tropical damselfish, *Chrysiptera cyanea* [J]. *Aquaculture*, 2011, 314(1): 188-192.
- [17] VILLAMIZAR N, GARCÍA-ALCAZAR 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.
- [18] KARAKATSOULI N, PAPOUTSOGLU 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.
- [19] ASHKAN B, MOHAMMAD R K, MAHMOUD B, et al. Stress response of juvenile beluga, *Huso huso*, to light and tank colors [J]. *Journal of applied aquaculture*, 2013, 25(1): 71-80.
- [20] 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.
- [21] HEYDARNEJAD M S, PARTO M, PILEVARIAN A A. Influence of light colours on growth and stress response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under laboratory conditions [J]. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 2013, 97(1): 67-71.

(上接第 98 页)

- [5] 黄志宏, 王兴金, 何梓铭, 等. 环境丰富对单独圈养黑猩猩行为影响的研究[J]. *野生动物*, 2007, 28(6): 19-22.
- [6] 王利勤, 赵波, 刘选珍, 等. 成都动物园灵长类动物丰富方式的研究[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2016(8): 178-179, 283.
- [7] 齐新章. 西宁野生动物园丰富工作开展规律研究[J]. *野生动物*, 2017, 38(2): 313-319.
- [8] 刘赫, 张轶卓, 王泽重, 等. 浅析圈养动物丰富[J]. *经济动物学报*, 2014, 18(2): 107-110.
- [9] 胡新波, 何鑫, 黄淑芳, 等. 食物丰富对笼养黑猩猩行为和粪便皮质醇的影响研究[J]. *野生动物学报*, 2014, 35(3): 282-288.

- [10] 石凌, 杨瑞麟, 吴孔菊, 等. 食物丰富对圈养猩猩行为的影响[J]. *四川动物*, 2009, 28(4): 589-592.
- [11] 刘群秀, 王爱善, 夏菊兴, 等. 应用气味丰富减少圈养华南虎 (*Panthera tigris amoyensis*) 的刻板行为[J]. *野生动物学报*, 2014, 35(4): 376-380.
- [12] 毛杰, 左智力, 杨小仪, 等. 气味丰富对几种蛇类行为影响实验[J]. *野生动物*, 2011, 32(5): 270-272.
- [13] 周世贤, 陶勇, 杜文鹏, 等. 松鼠猴血液生理指标的测定[J]. *野生动物*, 2008, 29(2): 72-73.
- [14] 李勇军, 王志永, 王万华, 等. 环尾狐猴的饲养繁殖和人工育幼[J]. *畜牧与饲料科学*, 2011, 32(2): 47-48.