

LED 光谱对斑马鱼繁殖行为、产卵量和受精率的影响^{*}

练小龙¹, 程如丽¹, 蹇杰¹, 李英文¹, 黄超², 陈洁², 陈启亮¹

(1. 重庆师范大学 生命科学院 重庆市高校动物生物学重点实验室, 重庆 401331; 2. 巨星农牧有限公司, 成都 611230)

摘要:【目的】考察不同 LED 光谱对斑马鱼的繁殖行为、产卵量和受精率的影响。【方法】将成年斑马鱼分别用白光、红光、蓝光和绿光的 LED 光谱处理 7 d, 随后进行雌雄鱼配对并拍摄繁殖行为, 获得繁殖行为参数及连续 3 日的累积产卵量和受精率。【结果】与白光处理相比: 1) 蓝光、绿光和红光处理对斑马鱼的触碰次数和追逐次数均无明显影响, 但蓝光和绿光处理后的斑马鱼这两项指标均有降低趋势; 2) 蓝光、绿光和红光处理对雌鱼和雄鱼单独进入产卵区的次数和逗留时间均无明显影响; 3) 蓝光、绿光和红光处理对雌鱼和雄鱼同时进入产卵区的次数和逗留时间无明显影响, 但蓝光处理后的雌鱼和雄鱼同时进入产卵区的次数较红光处理后的这一指标有统计学意义上的下降 ($p < 0.05$); 4) 蓝光、绿光和红光处理导致斑马鱼的产卵量有下降趋势, 且绿光处理后的斑马鱼的受精率也有轻微下降。【结论】最适宜斑马鱼繁殖的光谱是白光, 其次是红光, 而蓝光和绿光会在一定程度上抑制斑马鱼的繁殖行为, 并可能导致该鱼产卵量和受精率下降。

关键词: LED 光谱; 斑马鱼; 繁殖行为; 受精率

中图分类号: Q175

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2021)02-0020-06

光在自然环境中占有极为重要地位, 光的波长、强度和周期性与鱼类的繁殖和生长密切相关。在水下环境中, 随着水深不同, 光谱的成分也不同。在深海中, 可见光谱的短波光谱占主导地位; 而在浅海中可见光谱的长波光谱占主导地位^[1-2]。因此, 生活在不同水层的鱼类会对不同光谱产生适应性进化。研究表明, 光照对鱼类的摄食、生长发育、繁殖等有着不可忽视的影响^[3-5], 而不同的光谱成分也会影响鱼类的摄食动机、日常行为、性腺发育、抗氧化系统等^[6-8]。近些年来, 人工光照被广泛应用于工厂化水产养殖系统中, 以调控鱼类的生长发育和行为。随着光电科技的发展, 发光二极管 (Light-emitting diodes, LED) 因具有色多、体积小、寿命长、发光效率高等优点, 已成为重要的人工光源。LED 除应用于工厂化养殖业以外, 现也在观赏水族业中广泛使用。因此, 研究 LED 光谱对鱼类的影响, 营造适当的光谱环境, 有助于上述产业的发展。

繁殖是种群延续的基础, 而繁殖行为对鱼类完成繁殖活动至关重要。鱼类的繁殖生理与温度、光照等环境因子密切相关。斑马鱼 (*Danio rerio*) 是一种硬骨鱼类, 具有很强的观赏性, 它的繁殖受光照影响较大。研究表明: 在清晨给予斑马鱼光刺激后, 它的繁殖行为即可开始, 而且光照时间会影响它的产卵量^[9]; 急性光周期紊乱则会明显影响斑马鱼的繁殖行为^[10]。目前, 关于不同光谱对鱼类繁殖行为的影响研究较少。本研究将性成熟的斑马鱼暴露于不同的 LED 光谱中, 考察 LED 光谱对斑马鱼繁殖行为、产卵量和受精率的影响, 以便为鱼类的养殖和日常管理提供有关基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用斑马鱼购自国家斑马鱼资源中心。LED 光谱灯购自深圳市冠科水族用品有限公司, 包括白光 (波长范围为 400~780 nm)、红光 (波长为 630 nm)、蓝光 (波长为 450 nm)、绿光 (波长为 530 nm) 等 4 种不同规格。

1.2 实验方法

挑选健康且生长状况基本一致的成年雌性 (体质量为 (0.49 ± 0.02) g) 和雄性 (体质量为 (0.38 ± 0.01) g) 斑

^{*} 收稿日期: 2020-09-19 修回日期: 2020-11-16 网络出版时间: 2021-04-08 10:09

资助项目: 国家自然科学基金 (No. 31901183); 重庆市教育委员会科学技术研究项目 (No. KJQN201900512)

第一作者简介: 练小龙, 男, 研究方向为鱼类生理生态学, E-mail: 1724683053@qq.com; 通信作者: 陈启亮, 男, 副教授, 博士, E-mail: xncql@126.com

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20210408.0925.006.html>

马鱼各12尾,分别放入暗室内的8个长、宽、高均分别为28,20,22 cm的玻璃缸中,每缸放入3尾同性别斑马鱼,缸内均盛水4 L。设置4个处理组,分别进行白光、蓝光、绿光和红光暴露处理,各组缸中水面的光照强度均保持在 $0.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 左右^[11]。每个处理组均含有1缸雌鱼和1缸雄鱼。光周期为14 h光照:10 h黑暗,光照时间为每日7:00—21:00,如此连续处理7 d。处理期间缸内水温控制在 28°C 左右,水体中溶解氧质量浓度大于 $6.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,并于每日9:00,15:00和21:00分别投喂1次丰年虫(*Artemia nauplii*),投喂量为鱼体质量的1%左右,每隔1日换掉缸内50%体积的水。

于不同光谱处理第7 d的18:00进行斑马鱼繁殖行为的拍摄准备工作:将同一光谱处理下的1尾雌鱼和1尾雄鱼放入长、宽、高分别为28,20,22 cm的玻璃缸中,缸内水温、水量仍与之前保持一致;用有孔的塑料透明隔板将雌、雄鱼隔开,并放入1个透明塑料方盒(规格为 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$),盒内有石头,并用网格将石头分为上下两层,防止鱼卵被食,以此模拟产卵区;将摄像机安装在玻璃缸上方。处理结束后的第2日,于7:00打开该处理组所对应的LED光谱灯后,立即抽出隔板并连续摄像30 min。根据上述方法,对所有处理组的雌雄斑马鱼分别进行配对,并同时拍摄。将所拍摄的高清视频上传至电脑后,由同一实验人员分析有关繁殖行为指标。在分析过程中,为减小人为干扰,均去掉视频的前后5 min内容,即只分析中间时长为20 min的视频内容。参照Kiersten等人^[12]的方法统计斑马鱼在20 min内的繁殖行为参数,具体为:1) 触碰次数,即雄鱼用头或鼻触碰雌鱼的尾部或体侧的次数;2) 追逐次数,即雄鱼紧随雌鱼或与雌鱼并排游泳的次数;3) 雌鱼或雄鱼单独进入产卵区的次数以及在产卵区逗留的时间;4) 雌鱼和雄鱼同时进入产卵区的次数以及在产卵区逗留的时间。

繁殖行为拍摄完成后约2 h,将亲鱼移除,收集缸内的受精卵并统计产卵量和受精率。之后仍将斑马鱼放回原有的LED光谱处理下再养殖2 d,在此期间于每日10:00收集鱼卵。如此连续收集和统计斑马鱼3日内的累计产卵量和受精率。

上述实验重复3次,每次使用来源于同一批次的不同实验鱼进行实验,每个光谱处理组共计拍摄和统计9对鱼的繁殖行为参数、产卵量和受精率。

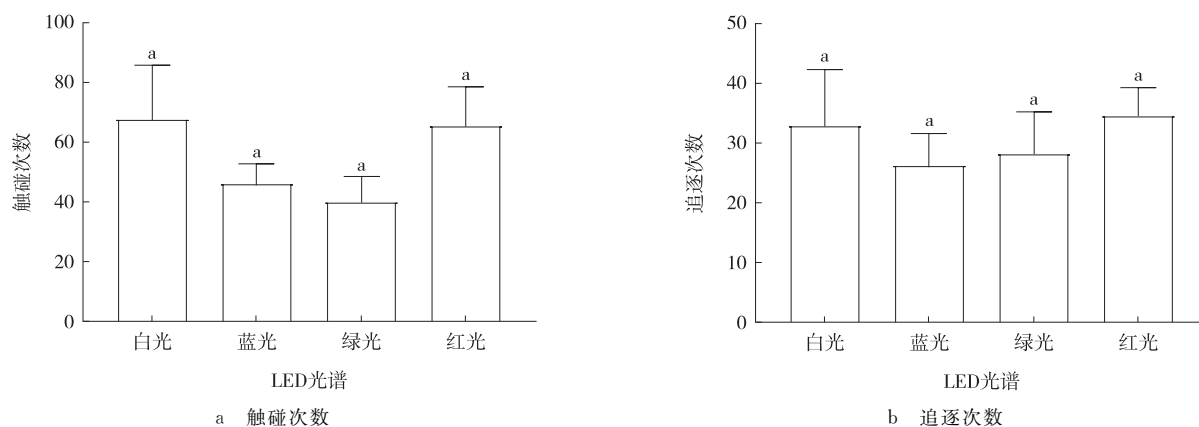
1.3 数据统计

实验所得数据以“平均值±标准误”表示(样本数 $n=9$)。用SPSS 22.0软件对数据进行单因素方差分析和Tukey多重比较,当 $p<0.05$ 时,各处理组数据的差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 对繁殖行为的影响

2.1.1 对触碰次数和追逐次数的影响 研究结果显示,与白光处理组和红光处理组的触碰次数(图1a)及追逐次数(图1b)相比,蓝光处理组和绿光处理组的这两项指标均略有下降,但它们之间的差异均不具有统计学意义。



注:不同小写字母表示差异具有统计学意义($p<0.05$),下同

图1 LED光谱对斑马鱼触碰次数和追逐次数的影响

Fig. 1 Effects of LED spectra on the frequency of touching and chasing of zebrafish

2.1.2 对雌鱼和雄鱼单独进入产卵区的次数和逗留时间的影响 由图2a,b,c,d可知:4个不同光谱处理组中不论是雌鱼还是雄鱼,它们单独进入产卵区的次数和逗留的时间都不具有统计学意义上的差异。

2.1.3 对雌鱼和雄鱼同时进入产卵区的次数和逗留时间的影响 图 3a 显示:与白光处理组的雌鱼和雄鱼同时进入产卵区的次数相比,其他 3 个不同光谱处理组的这一指标均无明显变化,有关差异无统计学意义;但蓝光处理组相比较于红光处理组而言,这一指标却有统计学意义上的下降($p < 0.05$)。雌鱼和雄鱼同时逗留在产卵区的时间与同时进入产卵区的次数有类似的变化趋势,但各组间该项指标的差异不具有统计学意义(图 3b)。

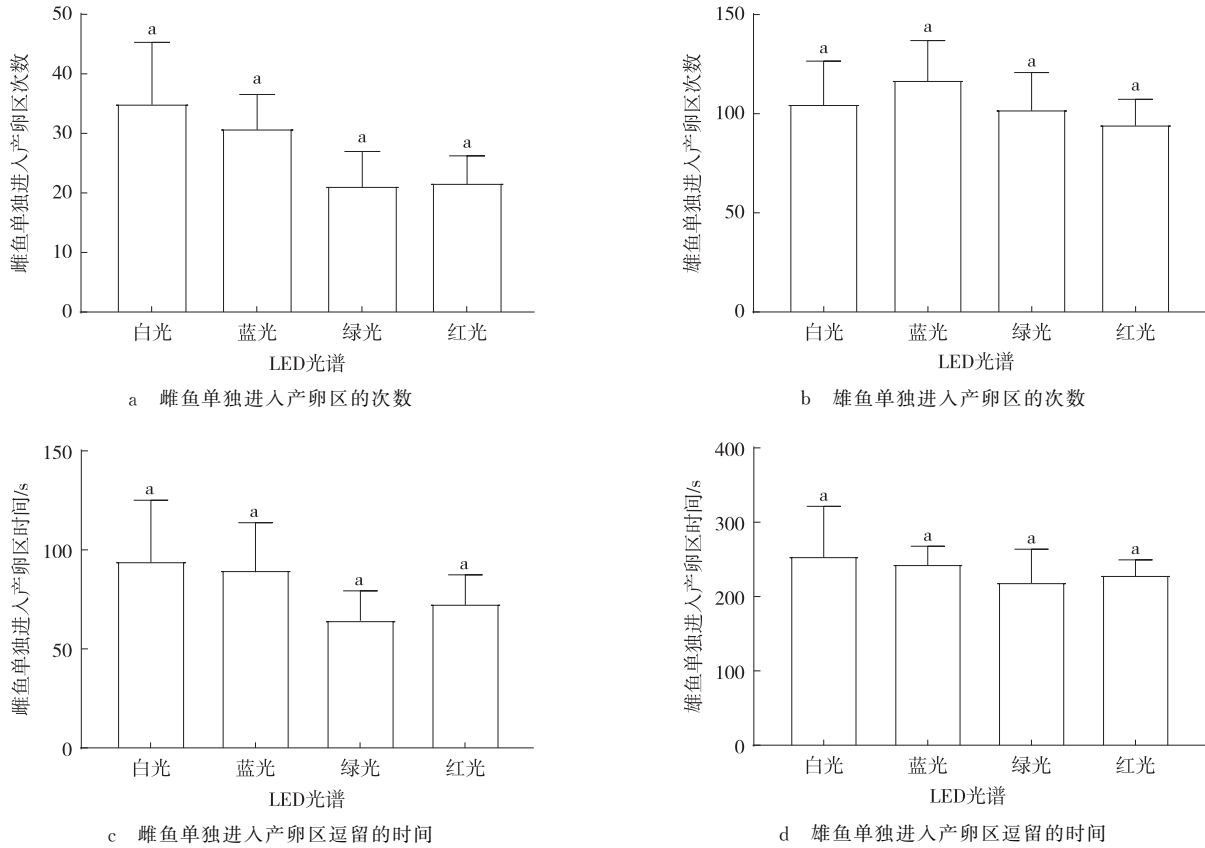


图 2 LED 光谱对雌雄斑马鱼单独进入产卵区的次数和逗留时间的影响

Fig. 2 Effects of LED spectra on the frequency and duration of female or male zebrafish visiting spawning area alone

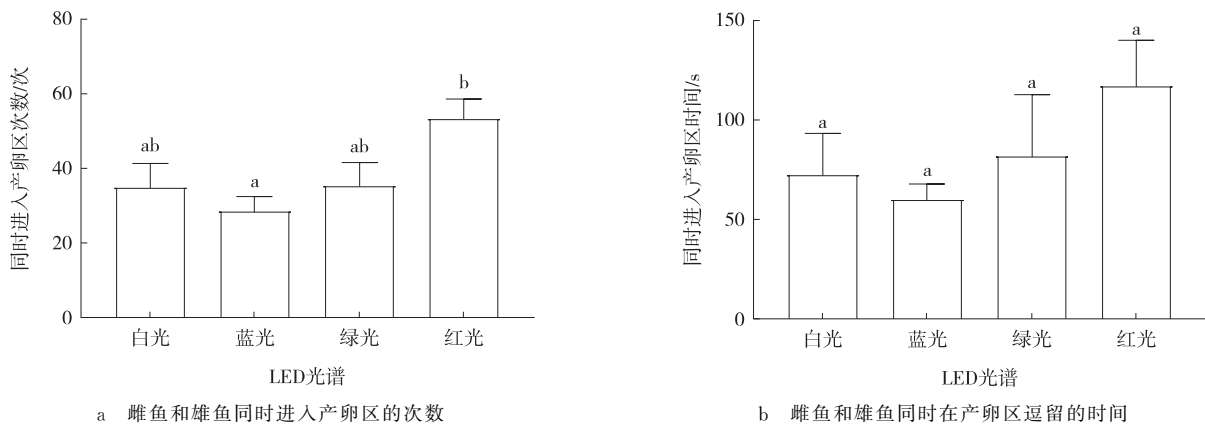


图 3 LED 光谱对雌雄斑马鱼同时进入产卵区的次数和逗留时间的影响

Fig. 3 Effects of LED spectra on the frequency and duration of both male and female zebrafish visiting spawning area simultaneously

2.2 对产卵量和受精率的影响

图 4a 显示:白光处理组的产卵量最高,红光处理组的产卵量次之,而蓝光处理组和绿光处理组的产卵量更低,但 4 个处理组产卵量的差异并不具有统计学意义。另外,白光处理组和红光处理组的受精率较高,蓝光处理组的受精率次之,绿光处理组的受精率最低,然而各处理组间该项指标的差异同样不具有统计学意义(图 4b)。

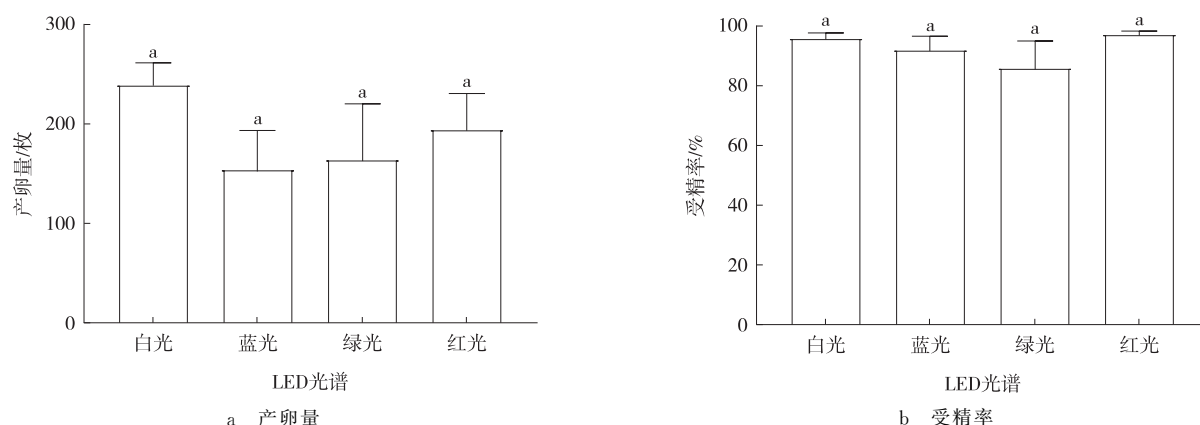


图4 LED光谱对斑马鱼产卵量和受精率的影响

Fig. 4 Effect of LED spectra on spawning and fertilization rate of zebrafish

3 讨论

鱼类摄食、生长发育、能量代谢、免疫力等均能受到光谱影响,且这些影响与光谱成分和鱼的种类都相关,例如:绿光可促进条斑星鲈(*Verasper moseri*)的生长^[13];红光能促进雌性蓝刻齿雀鲷(*Chrysiptera cyanea*)的性腺发育^[7];海鲈(*Dicentrarchus labrax*)幼鱼在蓝光下摄食活性最高^[14];蓝光和绿光能抑制低温或高温诱导的金鱼(*Carassius auratus*)体内氧化应激反应,从而起到保护作用^[8]。此外,不同鱼类由于生活环境存在差异而产生了不同的适应性,因此同种光谱对不同鱼类的影响也不完全相同。例如,红光能增加金头鲷(*Sparus aurata*)大脑多巴胺的活性并抑制该鱼的生长,但可以降低虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的胁迫反应并促进它的生长^[15]。

研究发现,雄性斑马鱼的存在对刺激雌性产卵必不可少,并且雄性的求偶行为直接关系到雌性能否成功产卵^[12,16]。斑马鱼的繁殖行为可分为以下3个阶段:1)初始阶段:雄鱼接近雌鱼,并对后者进行追逐;2)求偶阶段:雄鱼对雌鱼进行触碰、围绕、引导等一系列行为;3)产卵阶段:雌鱼进入产卵区产卵。斑马鱼的求偶行为在繁殖开始后的前30 min内达到高峰^[12]。在本研究中,与白光处理组和红光处理组相比,蓝光处理组和绿光处理组中雄鱼对雌鱼的触碰次数和追逐次数呈现轻微下降的趋势,表明斑马鱼繁殖行为的初始阶段和求偶阶段受到了一定程度的抑制,这对斑马鱼成功繁殖是不利的。一般而言,斑马鱼在清晨受光繁殖,并将卵产于石堆中,因此斑马鱼进入产卵区的次数和逗留的时间也是评估该鱼繁殖行为的重要指标。在本研究中,与白光处理组雌鱼和雄鱼同时进入产卵区的次数相比,蓝光处理组的该项指标略低,绿光处理组的该项指标则基本相当,红光处理组的该项指标则略高,且蓝光处理组较红光处理组而言,该项指标明显下降;此外,雌鱼和雄鱼同时逗留在产卵区的时间也有上述类似的变化趋势。因此,蓝光和绿光暴露处理会在一定程度上抑制斑马鱼的繁殖行为。然而,蓝光对其他鱼类的繁殖也可能表现为促进作用。例如,相较于白光,在蓝光暴露下的雄性尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)会清除更多的砾石、建造更大的巢穴,从而提高自身的繁殖率^[17]。这表明鱼类对光谱的适应具有物种特异性。就雌雄斑马鱼单独进入产卵区的次数和逗留时间来看,不同光谱处理组间的差异不明显,表明光谱对斑马鱼的繁殖行为影响主要体现在对雌鱼和雄鱼同时发生的繁殖行为方面。当然,上述指标差异不明显也可能跟本研究中光谱处理时间较短有关。此外,鱼类的繁殖行为与产卵量通常呈正相关关系^[18]。在本研究中,尽管差异不具有统计学意义,但蓝光处理组和绿光处理组的产卵量和受精率均比白光处理组和红光处理组的这两项指标略低。这可能是由于蓝光和绿光抑制了斑马鱼的繁殖行为,从而导致产卵量和受精率呈现下降趋势。综合上述结果来看,最适宜斑马鱼繁殖的是白光,其次是红光,蓝光和绿光对斑马鱼的繁殖则相对不利。

鱼类的繁殖行为受到多种激素的调控,如褪黑素和信息素。鱼眼接受光刺激后,可通过神经系统调节松果体合成褪黑素^[19],而褪黑素可以通过下丘脑-垂体-性腺(HPG)轴调控相关激素的分泌进而影响鱼类的性腺发育,从而影响鱼类的繁殖^[20-22]。已有研究表明,光谱可影响鱼类褪黑素的合成,且存在物种特异性。例如,蓝光可降低欧洲舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)血浆中褪黑素水平,而红光对该鱼褪黑素水平无明显影响^[23];对克氏双锯鱼(*Amphiprion clarkii*)进行不同光谱处理后发现,红光可明显提高它的褪黑素水平,而蓝光和绿光对该指

标无明显影响^[24]。此外,有研究发现,使用一定剂量的褪黑素暴露斑马鱼可促进体内卵泡成熟,并使该鱼性腺指数升高^[25]。因此,在本研究中,蓝光和绿光可能刺激了斑马鱼的感光细胞,调节了褪黑素的合成,进而传递到繁殖轴上并通过调控 HPG 轴抑制了斑马鱼的求偶行为,最终导致产卵量和受精率呈现下降趋势。信息素也是调控鱼类繁殖行为的重要激素之一。研究表明,雌、雄斑马鱼都会产生信息素,并通过嗅觉感知;雌鱼产生的信息素会吸引雄鱼,并促使后者开始一系列的求偶行为,而雄鱼产生的信息素能促进雌鱼排卵^[26-27]。本研究推测,不同光谱也可能通过影响斑马鱼信息素的合成与分泌,进而影响斑马鱼的繁殖行为。然而,关于不同 LED 光谱影响鱼类繁殖的具体机制尚需进一步深入研究。

综上所述,与白光相比,红光对斑马鱼的繁殖行为、产卵量和受精率的影响较小,而蓝光和绿光会在一定程度上抑制斑马鱼的繁殖行为,并可能导致斑马鱼的产卵量和受精率下降。

参考文献:

- [1] LYTGOE 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.
- [2] Mac NEIL 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.
- [3] BOEUF G, PIERRE Y, BAIL L. Does light have an influence on fish growth?[J]. *Aquaculture*, 1999, 177(1/2/3/4): 129-152.
- [4] 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.
- [5] CAMPOS-MENDOZA A, BROMAGE N, MCANDREW B J. The effect of photoperiod on the reproductive performance of the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2003, 28(1/2/3/4): 503-504.
- [6] 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.
- [7] 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(1/2/3/4): 188-192.
- [8] KIM N N, CHOI Y J, SHIN H S, et al. The effect of LED light spectra on antioxidant system by thermal stress in goldfish, *Carassius auratus* [J]. *Molecular and Cellular Toxicology*, 2014, 10(1): 47-58.
- [9] NATALIA V, MARIA V L, NICHOLAS F S, et al. Effect of lighting conditions on zebrafish growth and development[J]. *Zebrafish*, 2014, 11(2): 173-181.
- [10] 陈鑫, 盛尚, 江涛, 等. 急性光周期紊乱对斑马鱼繁殖行为的影响[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 36(1): 37-41.
CHEN X, SHENG S, JIANG T, et al. Effects of acute photoperiod disturbances on the reproductive behaviors of zebrafish[J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2019, 36(1): 37-41.
- [11] 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.
- [12] KIERSTEN O D, WILLIAM A H. Characterization and development of courtship in zebrafish, *Danio rerio* [J]. *Zebrafish*, 2004, 1(1): 40-45.
- [13] YAMANOME T, MIZUSAWA K, HASEGAWA E I, et al. Green light stimulates somatic growth in the barfin flounder *Verasper moseri* [J]. *Journal of Experimental Zoology Part A Ecological Genetics and Physiology*, 2010, 311A(2): 73-79.
- [14] VILLAMIZAR N, GARCÍA-MATEOS G, SÁNCHEZ-VÁZQUEZ F J. Behavioral responses of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae and *Artemia* sp. exposed to constant light or darkness vs. light/dark cycles of white, red or blue wavelengths [J]. *Aquaculture*, 2011, 317(1/2/3/4): 197-202.
- [15] KARAKATSOULI N, SOFRONIOS E P, 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.
- [16] SPENCE R, GERLACH G, LAWRENCE C, et al. The behaviour and ecology of the zebrafish, *Danio rerio* [J]. *Biological Reviews*, 2010, 83(1): 13-34.
- [17] VOLPATO G L, DUARTE C R A, LUCHIARI A C. Environmental color affect Nile tilapia reproduction[J]. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 2004, 37(4): 479-483.

- [18] HENRIKSEN P G, BEEDHOLM K, BAATRUP E, et al. Differences in reproductive behavior between spawning and non-spawning zebrafish pairs and the effects of 17 α -ethinylestradiol (EE2) [EB/OL]. (2016-09-06) [2020-09-19]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5606659/>.
- [19] MIGAUD H, COWAN M, TAYLOR J, et al. The effect of spectral composition and light intensity on melatonin, stress and retinal damage in post-smolt Atlantic salmon, *Salmo salar* [J]. Aquaculture, 2007, 270(1/2/3/4): 390-404.
- [20] MIGAUD H, DAVIE A, TAYLOR J F. Current knowledge on the photoneuroendocrine regulation of reproduction in temperate fish species [J]. Journal of Fish Biology, 2010, 76(1): 27-68.
- [21] AMANO M, IIGO M, IKUTA K, et al. Roles of melatonin in gonadal maturation of underyearling precocious male masu salmon [J]. General and Comparative Endocrinology, 2000, 120(2): 190-197.
- [22] AMANO M, IIGO M, IKUTA K, et al. Disturbance of plasma melatonin profile by high dose melatonin administration inhibits testicular maturation of precocious male masu salmon [J]. Zoological Science, 2004, 21(1): 79-85.
- [23] BAYARRI M J, MADRID J A, SÁNCHEZ-VÁZQUEZ F J. Influence of light intensity, spectrum and orientation on sea bass plasma and ocular melatonin [J]. Journal of Pineal Research, 2010, 32(1): 34-40.
- [24] PARK M S, SHIN H S, KIM N N, et al. Effects of LED spectral sensitivity on circadian rhythm-related genes in the yellowtail clownfish, *Amphiprion clarkii* [J]. Animal Cells and Systems, 2013, 17(2): 99-105.
- [25] CARNEVALI O, GIOACCHINI G, MARADONNA F, et al. Melatonin induces follicle maturation in *Danio rerio* [J]. PLoS One, 2011, 6(5), e19978.
- [26] HURK R V D, LAMBERT J G D. Ovarian steroid glucuronides function as sex pheromones for male zebrafish, *Brachydanio rerio* [J]. Canadian Journal of Zoology, 1983, 61(11): 2381-2387.
- [27] HURK R V D, SCHOONEN W G E J, ZOELLEN G A V, et al. The biosynthesis of steroid glucuronides in the testis of the zebrafish, *Brachydanio rerio*, and their pheromonal function as ovulation inducers [J]. General and Comparative Endocrinology, 1987, 68(2): 179-188.

Animal Sciences

Effects of LED Spectrum on Reproductive Behavior, Spawning and Fertilization Rate in Zebrafish

LIAN Xiaolong¹, CHENG Ruli¹, JIAN Jie¹, LI Yinwen¹, HUANG Chao², CHEN Jie², CHEN Qiliang¹

(1. Chongqing Key Laboratory of Animal Biology, College of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;
2. Giantstar Farming & Husbandry Co. Ltd., Chengdu 611230, China)

Abstract: [Purposes] To investigate the effects of different LED spectra on reproductive behavior, spawning, and fertilization rate in zebrafish. [Methods] Adult zebrafish were exposed to white, red, blue, or green LED spectra for 7 days, and then female and male fish were paired and their reproductive behaviors were photographed to obtain reproductive behavior parameters as well as cumulative egg production and fertilization rate for 3 consecutive days. [Findings] Compared with the white light group: 1) Blue light, green light, and red light had no significant effect on the number of touches and chases of zebrafish, but these two indexes of zebrafish treated with blue light and green light had a decreasing trend; 2) Blue light, green light, and red light had no significant effect on the number of times and staying time of female and male fishes entering the spawning area separately; 3) Blue light, green light and red light had no significant effect on the number of times that female and male fish enter the spawning area at the same time and the time they stay in the spawning area, but the number of females and males entering the spawning area at the same time in the blue light group was significantly lesser than that in the red light group; 4) Blue light, green light, and red light caused a downward trend in egg production, and the fertilization rate in the green light group also decreased slightly. [Conclusions] The most suitable for zebrafish reproduction is white light, followed by red light, while blue and green light could inhibit the reproduction behavior of zebrafish and might lead to a decrease in egg production and fertilization rate.

Keywords: LED spectrum; zebrafish; reproductive behavior; fertilization rate

(责任编辑 方 兴)