

光周期亚急性暴露干扰雄性斑马鱼繁殖行为及对正常雌性的协同干扰^{*}

谢承婷, 李英文, 刘智皓

(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 重庆市高校生物活性物质工程研究中心, 重庆 401331)

摘要:【目的】探究不同光周期亚急性暴露对雄性斑马鱼繁殖行为的损害及对正常配对雌鱼繁殖行为的干扰效应。【方法】设置12 h光照:12 h黑暗(对照)、6 h光照:18 h黑暗(短光周期)和18 h光照:6 h黑暗(长光周期)共3种不同的光周期,连续暴露处理雄性斑马鱼成鱼7 d,在处理结束后将雄鱼与未进行上述暴露处理的雌鱼配对繁殖,统计雌雄斑马鱼的各种繁殖行为参数。【结果】与对照组相比:1)长、短光周期组雌雄斑马鱼相遇频次、追逐频次均无明显变化;2)长、短光周期组雌雄斑马鱼同时进入产卵区的频次和时间均明显减少;3)长、短光周期组雄鱼单独进入产卵区的频次和时间均明显减少,与长光周期组雄性配对的未暴露雌鱼单独进入产卵区的频次和时间也明显减少。【结论】不同光周期亚急性暴露严重干扰雄性斑马鱼的繁殖行为,这一行为的变化对与之配对的未进行相同暴露处理的雌鱼产生明显的协同干扰效应。

关键词:光周期;亚急性暴露;斑马鱼;繁殖行为;协同干扰

中图分类号:Q492.5

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2021)02-0032-06

光周期(Photoperiod)是指昼夜周期中光照和黑暗长短的交替变化,即1天内白昼与黑夜的相对长度。自然界中,生物对昼夜光暗循环格局的反应即为光周期现象。光周期现象最早发现于植物中,但动物在长期进化过程中也形成了与自然光周期相适应的昼夜节律。昼夜节律系统参与动物一系列生理、心理和行为变化过程,是个体生命活动具备的基本特征之一^[1]。昼夜节律的存在,使动物能够根据环境的变化有规律的调节自身的生理功能及生命活动。

研究表明,稳定的光周期对动物的摄食、生长发育、繁殖等生命活动有重要意义^[2-4]。人为地改变光周期会打乱动物的昼夜节律、影响动物的生理效应^[5]。自然界中绝大多数动物的繁殖均受到光周期的调控,因而光周期变化对动物繁殖力有明显影响。例如,卤虫(*Artemia* sp.)的繁殖方式在长光周期下为非滞育途径,而在短光周期下则为滞育途径,通过两种繁殖方式产生的卵在大小、外貌等形态特征上均有差异^[6]。另外,光周期是调节大多数温带鸟类生殖内分泌的关键环境因子,而生殖内分泌是调节鸟类繁殖行为的重要生理过程。延长光照可作用于鸟类的生殖轴,即下丘脑-垂体-性腺(Hypothalamus-pituitary-gonadal, HPG)轴,以此刺激繁殖;而短光照则能抑制繁殖^[7]。日照长度的变化对于哺乳动物的生殖也有明显影响:持续黑暗会抑制大鼠(*Rattus norvegicus*)的生殖过程,并使它的卵巢质量下降;持续光照则会过度刺激大鼠的生殖系统,使它产生持续发情行为;此外,在持续光照下,大鼠和小鼠(*Mus musculus*)的多数卵泡在不形成黄体的情况下达到排卵前期^[8]。有规律的延长光照时长会降低雌性水貂(*Neovison vison*)松果体分泌的褪黑素(Melatonin, MT)水平,刺激垂体促乳素的分泌,启动黄体发育,使孕酮(Progesterone)提前2 d达到峰值,从而缩短母貂的妊娠周期,且增加了产仔数量及幼崽存活率^[9]。在生产实践中,光照时间延长是造成雄性家兔(*Oryctolagus cuniculus* f. *domesticus*)“夏季难育”的主要原因之一,持续光照超过16 h将引起公兔睾丸缩小和精子数量减少^[10]。在有关鱼类的研究中,已发现在扁吻鱼(*Aspiorhynchus laticeps*)受精卵孵化前的48 h内适当延长光照可提高受精卵孵化效率和出膜

^{*} 收稿日期:2020-11-02 修回日期:2020-12-21 网络出版时间:2021-04-07 15:17

资助项目:国家自然科学基金青年项目(No. 31901183);重庆市自然科学基金(No. cstc2020jcyj-msxmX0805);重庆市基础科学与前沿技术研究专项基金(No. cstc2016jcyjA1032);重庆市教育委员会科学技术研究项目(No. KJ1600308)

第一作者简介:谢承婷,女,研究方向为鱼类生理学,E-mail:1598780703@qq.com;通信作者:刘智皓,男,副教授,博士,E-mail: minenut@163.com

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20210407.1457.014.html

率^[11],而长光周期结合红光可协同加速雌性光唇鱼(*Acrossocheilus faciatus*)卵巢发育并提高血浆 MT 水平^[12]。然而,有关不同光周期暴露是否会干扰鱼类繁殖行为的研究目前鲜有报道。

斑马鱼(*Danio rerio*)是一种原产于南亚国家的小型淡水热带鱼类,具有饲养简单、繁殖周期短、产卵量大、胚体透明等特点,且与人类基因组有高达 87% 的同源性,因此被广泛用于生殖、发育及行为学研究。有研究表明,斑马鱼雄性在繁殖过程中占主导地位^[13]。在清晨光照刺激后,雄性斑马鱼会通过一系列的求偶行为如追逐雌鱼、用头部(鼻)及尾巴触碰雌鱼、围绕雌鱼转圈等引诱雌鱼进入产卵区产卵;被追求的雌鱼则会配合雄鱼的追逐,多次在产卵区内外进出;在产卵区内,雌雄斑马鱼身体并列、头部平行,身体高频震颤完成产卵或排精^[14]。由此可见,光照对斑马鱼的繁殖起着重要作用。同时,有研究也表明光照时间的长短会直接影响雌性斑马鱼的产卵量、卵的孵化率^[15]。那么,不同光周期亚急性暴露是否会影响雄性斑马鱼的繁殖行为? 雄性斑马鱼繁殖行为的变化又是否会影响正常雌性斑马鱼的繁殖行为? 这些问题值得进一步研究。为此,本研究将不同光周期亚急性暴露后的雄性斑马鱼与正常雌性斑马鱼交配。通过分析斑马鱼在繁殖过程中的各种繁殖行为指标,探讨不同光周期亚急性暴露对雄性鱼繁殖行为的影响,并进一步分析雄性斑马鱼繁殖行为变化对正常雌性斑马鱼繁殖行为的影响,从而为有关不同光周期对鱼类繁殖行为的影响及相关生理机制的研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验仪器

实验仪器:SONY DSC-RX100 M4 摄像机(日本索尼公司);TA8124 数字照度计(苏州特安斯电子有限公司);HANNA-HI198193 溶氧仪(意大利 HANNA 公司)。

1.2 实验材料 with 处理

实验用 150 d 龄成年雄性斑马鱼共 15 尾,为笔者所在实验室自主繁殖获得的子四代(AB 系亲本来购于国家斑马鱼资源中心),平均体质量为 (0.32 ± 0.08) g,另随机选取相同来源的 15 条同龄雌性斑马鱼,平均体质量为 (0.42 ± 0.05) g。在进行不同光周期暴露处理前,实验鱼均在暗室中驯养 14 d,光照周期为 12 h 光照:12 h 黑暗,光照时间为 9:00—21:00,光源照度为 (800 ± 350) lx,驯养水温为 (28 ± 0.5) °C。驯养期间每日喂食 2 次,换水 1 次。驯养结束后,将雄鱼平均分为 3 个组,每组 5 尾:1) 对照组,即正常光周期组,光照周期和光照时间与驯养期间时保持一致;2) 短光周期组,光照周期为 6 h 光照:18 h 黑暗,光照时间为 9:00—15:00;3) 长光周期组,光照周期为 18 h 光照:6 h 黑暗,光照时间为 9:00—次日 3:00。如此连续进行 7 d 的不同光周期暴露处理。暴露处理期间每日 9:00 和 12:30 各喂食 1 次,12:00 换水 1 次,且光源照度、水温等均与驯养时一致,水体溶氧量为 $5.88 \sim 6.50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在暴露处理结束的前一天 14:00,将 3 组雄性斑马鱼分别置于盛有 3 L 脱氯自来水的白色塑料盆(规格为 30 cm×20 cm×10 cm)中,每组设 5 个平行,共计 15 个盆。每条雄性斑马鱼与 1 条未经暴露处理的雌性斑马鱼配对置于暗室中,两者用挡板加以隔离(挡板只允许水流通);暗室顶部即盆上方约 80 cm 处安装高清摄像机。次日 6:00 开灯,撤去挡板,将装有小石子和水草的塑料盒(规格为 10 cm×10 cm×1 cm)置于白色塑料盆中相同的角落,作为产卵区,待斑马鱼适应 5 min 后,拍摄视频 30 min。斑马鱼繁殖行为的统计方法参照文献^[16]的方法进行。统计雌雄斑马鱼的繁殖行为指标如下:1) 雌雄斑马鱼相遇(雄鱼和雌鱼之间的距离小于 0.5 cm)频次;2) 相互追逐频次;3) 雌雄斑马鱼同时进入产卵区域的频次与时间;4) 雌雄斑马鱼单独进入产卵区的频次与时间。

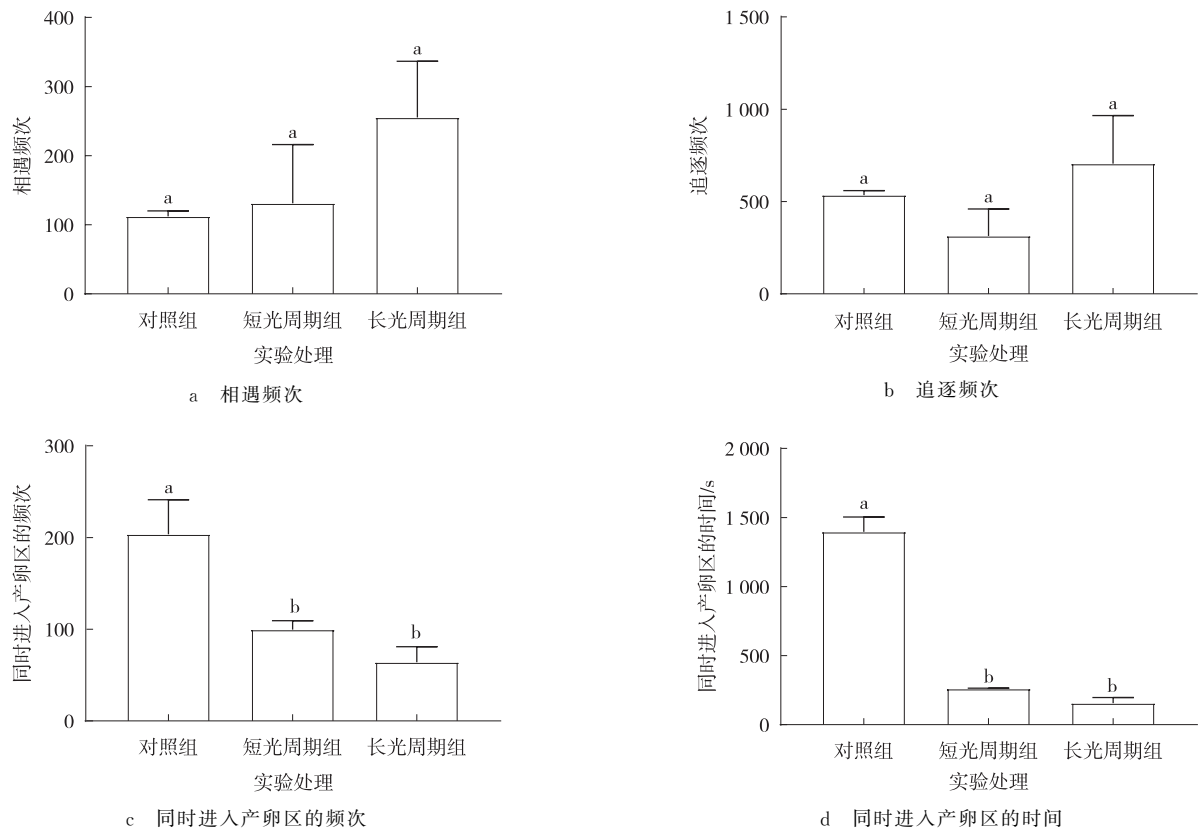
1.3 数据统计

实验数据均以“平均值±标准误”表示,采用 Excel 2010 和 SPSS 26.0 软件对数据分别进行常规计算及统计分析。原始数据的正态性和方差齐性分别用 Shapiro-Wilk 检验和 Levene 检验进行分析。各项指标的统计均使用单因素方差分析(One-way ANOVA),之后用 Turkey 法对数据的组间差异进行多重比较。当 $p < 0.05$ 时,统计结果具有统计学意义。柱形图使用 GraphPad Prism 8 软件绘制。

2 结果

图 1a,b 显示:不同光周期亚急性暴露处理对斑马鱼雌雄性的相遇频次和追逐频次均无统计学意义上的差异。然而与对照组相比,无论是短光周期还是长光周期的亚急性暴露处理,均明显减少了雌雄斑马鱼同时进入

产卵区的频次(图 1c)和两者同时进入产卵区的时间(图 1d),且短光周期组或长光周期组与对照组在这两项指标上的差异分别在 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$ 水平上具有统计学意义。



注:不同小写字母代表组间数据($n=5$)具有统计学差异($p < 0.05$),下同

图 1 不同光周期亚急性暴露对雌雄斑马鱼相遇频次、追逐频次、同时进入产卵区的频次及同时进入产卵区的时间的影响

Fig. 1 Subacute effects of different photoperiod on the encounter frequency, chase frequency, visits of both sexes in spawning area, and time of both sexes in spawning area of zebrafish

图 2a,b 显示:与对照组相比,短光周期组和长光周期组的雄鱼单独进入产卵区的频次和时间均有统计学意义上的减少($p < 0.05$)。与对照组配对的雌鱼相比,与短光周期组配对的雌鱼单独进入产卵区的频次和时间均无统计学意义上的差异;但与长光周期组配对的雌鱼单独进入产卵区的频次和时间均有统计学意义上的减少($p < 0.05$)。

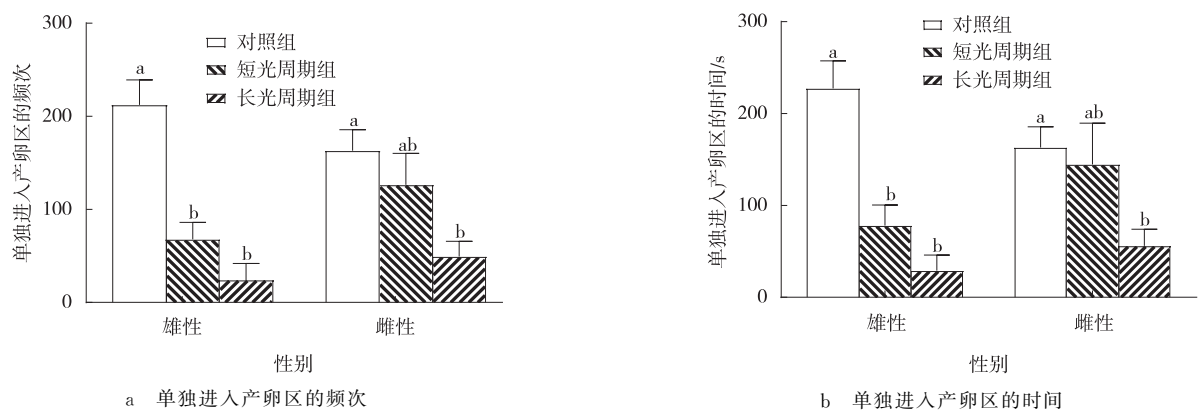


图 2 不同光周期亚急性暴露对雌雄性斑马鱼单独进入产卵区的频次、单独进入产卵区的时间的影响

Fig. 2 Subacute effects of different photoperiod on frequency of female/male zebrafish entering spawning and time of female/male zebrafish entering spawning area

3 讨论

3.1 不同光周期亚急性暴露对雄性斑马鱼繁殖行为的抑制

本研究结果显示:不同光周期亚急性暴露处理后的雌雄斑马鱼在相遇频次与追逐频次上均无统计学意义上的差异,短光周期组的雌雄斑马鱼的追逐频次与对照组的该项指标相比仅有减少的趋势。这表明不同光周期亚急性暴露处理并对雄性斑马鱼的求偶行为有明显的干扰。但与此同时,与对照组相比,短光周期和长光周期组的雄鱼单独进入产卵区的频次及时间均明显减少;短光周期组和长光周期组雌雄斑马鱼同时进入产卵区的频次和时间也明显减少。这表明雄性斑马鱼的繁殖意愿有了明显下降。总之,本研究结果说明,不同光周期亚急性暴露处理明显地抑制了雄性斑马鱼的繁殖行为,且本研究所设置的长、短光周期暴露处理均使斑马鱼的繁殖意愿下降。

鱼类的繁殖活动是一个复杂的过程,需要外界环境的刺激和鱼类神经内分泌系统的综合调节。而繁殖行为的变化很大程度上与鱼类生殖内分泌水平有关。鱼类的生殖内分泌调控均受控于 HPG 轴^[17]。下丘脑合成的促性腺激素释放激素(Gonadotropin-releasing hormone, GnRH)可刺激垂体合成释放卵泡刺激素(Follicle-stimulating hormone, FSH)和促黄体激素(Luteinizing hormone, LH),进而调控早期配子的发育、类固醇激素生成、排卵/排精等生殖活动^[16]。但包括鱼类在内的多种脊椎动物的松果体能够感知光刺激,将光信号转化为 MT 信号,随后作用于 HPG 轴,间接影响 GnRH 的分泌,从而调节动物的繁殖^[18]。由于斑马鱼 MT 的分泌具有昼夜节律性,光照会抑制 MT 的分泌;而光照时长的变化会扰乱 MT 的分泌节律,进而影响斑马鱼 HPG 轴中 GnRH、LH/FSH 等一系列激素水平的变化。这可能是本研究中短、长光周期组雄性斑马鱼繁殖行为发生变化的重要原因。

3.2 雄性斑马鱼繁殖行为变化对雌性斑马鱼的协同干扰效应

在本研究中,未进行不同光周期亚急性暴露处理的雌鱼与进行不同光周期亚急性暴露处理后的雄鱼在繁殖活动中,它的繁殖行为也发生了不同程度的变化。例如:与对照组的情况相比,长、短光周期组雌雄斑马鱼同时进入产卵区的时间和频次均明显减少,表明发生了繁殖行为变化的雄性诱导了与之配对的雌性斑马鱼繁殖行为的改变。另外,同与对照组雄鱼配对的雌鱼相比,与短光周期组雄鱼配对的雌鱼单独进入产卵区的频次和时间没有明显减少,但与长光周期组雄鱼配对的雌鱼单独进入产卵区的频次和时间却明显减少。与之相对应的是,长光周期组的雄鱼单独进入产卵区的频次和时间比短光周期组的雄鱼更少,尽管这一差异并无统计学意义。因此,未进行不同光周期亚急性暴露处理的雌鱼和与之配对的雄鱼的繁殖行为变化的程度呈一定程度的正相关。这进一步说明了雄性斑马鱼繁殖行为的变化会诱发与之配对的雌性斑马鱼产生协同效应。

在鱼类的繁殖过程中,视觉和嗅觉因素可能均扮演了重要角色。在本研究中,就雌雄斑马鱼相遇频次、追逐频次来看,不同光周期亚急性暴露并未明显影响雄性斑马鱼的求偶行为,表明光周期改变并未明显干扰雄性斑马鱼的视觉信号。而嗅觉是鱼类感知外界环境的主要器官之一,几乎所有鱼类行为模式都与嗅觉相关^[19-20]。在繁殖活动中,鱼类可以利用嗅觉寻找交配对象,并判断它们的性腺成熟度;生殖洄游的嗅觉假说已在一些鲑科(Salmonidae)鱼类中得到证实^[20]。另外,嗅觉而非视觉通路已被证实可在无备平鲈(*Sebastes inermis*)的洄游行为中起主导作用^[21]。已有研究表明,当有雄性斑马鱼存在时会引起雌性斑马鱼强烈的嗅觉电生理反应,这可能与雄性斑马鱼释放的性外激素(多种类固醇物质)密切相关^[21]。雄性斑马鱼的性外激素可被雌性斑马鱼嗅觉受体特异性识别,吸引并引发雌鱼的产卵行为^[21-22]。众多研究表明,性类固醇激素是调控鱼类前生殖行为和交配行为、实现交配双方生殖行为的同步的重要化学信号^[21,23]。雄鱼释放的异常化学信号可能通过雌鱼的嗅觉受体传入自身的中枢神经系统,并干扰雌性的 HPG 轴,从而改变雌鱼的生殖生理过程。因此,不同光周期暴露是否会通过干扰雄性斑马鱼性外激素的释放水平,从而降低雌鱼的产卵意愿,则成为一个有趣的问题。现有研究发现,斜纹夜蛾(*Spodoptera litura*)的嗅觉具有昼夜节律性,且它的嗅觉反应节律可能受控于嗅觉基因和时钟基因的表达^[24]。类似地,鱼类的嗅觉、时钟基因和性外激素水平之间是否也会存在着某种关联,这或许将对进一步揭示光周期对鱼类繁殖行为影响的机制有所帮助。

综上所述,斑马鱼的繁殖活动是一个极为复杂的过程,受控于环境和自身激素水平等多重因素。本研究结果说明,不同光周期亚急性暴露明显干扰了斑马鱼雄性的繁殖行为,降低了它的繁殖意愿,并改变了它的正常繁

殖调节模式。另一方面,雄性斑马鱼繁殖行为模式的改变对雌性斑马鱼的繁殖行为产生了协同干扰效应,这可能会对斑马鱼的繁殖能力造成损害,并进一步破坏该鱼的种群结构和降低该鱼的种群数量,最终影响斑马鱼种群的正常繁衍。

参考文献:

- [1] 李琳娜,杨馥铭,张艾,等.昼夜节律紊乱与胰岛 β 细胞缺陷关系的研究进展[J].现代生物医学进展,2018,18(5):994-996.
LI L N, YANG F M, ZHANG A, et al. Advance in the relationship between circadian rhythm disturbance and islet cell defect research[J]. Advances in Modern Biomedicine, 2018, 18(5): 994-996.
- [2] 孙佳敏,王芳,张立斌,等.不同光照周期对刺参摄食节律和消化生理的影响[J].海洋科学,2015,39(5):1-8.
SUN J M, WANG F, ZHANG L B, et al. Effects of different light cycles on feeding rhythm and digestive physiology of *Acanthopanax japonicas*[J]. Marine Science, 2015, 39(5): 1-8.
- [3] 姚明勇,周吕,王岚,等.光周期对叉角厉蝽生长发育及繁殖的影响[J].西南师范大学学报(自然科学版),2020,45(3):109-114.
YAO M Y, ZHOU L, WANG L, et al. Effects of photoperiod on the growth, development and reproduction of *Melilotis chinensis* [J]. Journal of Southwest Normal University (Natural Science Edition), 2020, 45(3): 109-114.
- [4] 张伟.光周期和食物对异色瓢虫生长发育和生殖滞育的影响[D].保定:河北农业大学,2012.
ZHANG W. Effects of photoperiod and food on growth and reproductive diapause of Ladybird (*Harmonia axyridis*) [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2012.
- [5] 袁力,谢启光,徐小冬.生物钟与光周期响应[J].自然杂志,2019,41(3):168-173.
YUAN L, XIE Q G, XU X D. Internal clock and photoperiod response[J]. Nature Magazine, 2019, 41(3): 168-173.
- [6] 黄旭雄,陈马康,刘波.光周期对卤虫繁殖的影响[J].水生生物学报,2001,25(3):297-300.
HUANG X X, CHEN M K, LIU B. Effects of photoperiod on reproduction of brine shrimp (*Artemia* sp.) [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2001, 25(3): 297-300.
- [7] 陈晓宇,张淑萍.影响鸟类生殖内分泌的环境因子概述[J].生物学通报,2011,46(12):3-5.
CHEN X Y, ZHANG S P. An overview: environmental factors affecting reproductive endocrine in birds[J]. Chinese Journal of Biology, 2011, 46(12): 3-5.
- [8] 刘翠香,张建红,刘田福.光照周期对啮齿类实验动物影响[J].山西医科大学学报,2001,32(3):284-285.
LIU C X, ZHANG J H, LIU T F. Effects of light cycle on rodent experimental animals [J]. Journal of Shanxi Medical University, 2001, 32 (3): 284-285.
- [9] 马泽芳,崔凯,王书安,等.光照对繁殖期水貂体内孕酮及繁殖性能的影响[J].中国畜牧杂志,2016,52(7):71-75.
MA Z F, CUI K, WANG S A, et al. Effects of light on progesterone and reproductive performance in breeding mink (*Neovison vison*) [J]. Chinese journal of animal husbandry, 2016, 52(7): 71-75.
- [10] 陈岩锋,谢喜平,孙世坤,等.光照对家兔繁殖的影响及其控制[J].中国畜禽种业,2016,12(4):59-61.
CHEN Y F, XIE X P, SUN S K, et al. Effects of light on rabbit (*Oryctolagus cuniculus* f. *domesticus*) reproduction and its control [J]. China Livestock and Poultry Seed Industry, 2016, 12(4): 59-61.
- [11] 贺疆滔,韩军军,时春明,等.光周期对扁吻鱼受精卵孵化的影响[J].科学养鱼,2020(3):10-11.
HE J T, HAN J J, SHI C M, et al. Effects of photoperiod on the hatching of fertilized eggs of *Aspiorhynchus laticeps* [J]. Science Fish Culture, 2020(3): 10-11.
- [12] 颀志刚,鲁纪刚.光周期和红光对光唇鱼卵巢发育和机体氧化应激状态的影响[J].渔业研究,2018,40(2):111-119.
JIE Z G, LU J G. Effects of photoperiod and red light on ovarian development and oxidative stress state of *Acrossocheilus faciatius* [J]. Fisheries Research, 2008, 40(2): 111-119.
- [13] WESTERFIELD M. The zebrafish book: a guide for the laboratory use of zebrafish *Danio (Brachydanio) rerio* [M]. 4th ed. Eugene, Oregon, USA: University of Oregon Press, 2000.
- [14] DARROW K O, HARRIS W A. Characterization and development of courtship in zebrafish, *Danio rerio* [J]. Zebrafish, 2004, 1(1): 40-45.
- [15] HAMED A B, FALAHATKAR C L. The effect of photoperiod on growth and spawning performance of zebrafish, *Danio rerio* [EB/OL]. (2020-03-07)[2020-11-02]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352513419303424>.
- [16] BAATRUP E, HENRIKSEN P G. Disrupted reproductive behavior in unexposed female zebrafish (*Danio rerio*) paired with males exposed to low concentrations of 17 α -ethinylestradiol (EE2) [J]. Aquatic Toxicology, 2015, 160: 197-204.

- [17] 管波,廖小林,常剑波. 鲟鱼生殖内分泌学研究进展[J]. 水生态学杂志,2016,37(3):1-12.
GUAN B, LIAO X L, CHANG J B. Advances in reproductive endocrinology of sturgeon[J]. Journal of Hydroecology, 2016, 37(3):1-12.
- [18] 薛海龙,赵蒙,常彤,等. 光周期调控动物繁殖的信号通路研究进展[J]. 特产研究,2020,42(2):76-78.
XUE H L, ZHAO M, CHANG T, et al. Advances in photoperiod signaling pathways regulating animal reproduction[J]. Journal of Specialty Studies, 2020, 42(2):76-78.
- [19] 朱国利,唐文乔,刘东. 鱼类嗅觉受体基因研究进展[J]. 水产学报,2015,39(6):916-927.
ZHU G L, TANG W Q, LIU D. Advances in studies on olfactory receptor genes in fish[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2015, 39(6):916-927.
- [20] 魏凯,陈春山,张旭光,等. 鱼类嗅觉系统功能与行为生态研究进展[J]. 海洋渔业,2017,39(6):723-730.
WEI K, CHEN C S, ZHANG X G, et al. Advances in studies on olfactory system function and behavioral ecology of fish[J]. Marine Fisheries, 2017, 39(6):723-730.
- [21] 刘东,张振玲,赵亚辉,等. 鱼类嗅觉器官的形态与生理研究进展[J]. 动物学杂志,2005(6):122-128.
LIU D, ZHANG Z L, ZHAO Y H, et al. Advances in morphological and physiological studies of olfactory organs in fish[J]. Journal of Zoology, 2005(6):122-128.
- [22] 李杰. 雄性斑马鱼的饲养水吸引雌性并引起雌性斑马鱼产卵行为的研究[D]. 上海:上海海洋大学,2017.
LI J. Study on female attraction and spawning behavior of male zebrafish in feeding water[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017.
- [23] STACEY N. Hormones, pheromones and reproductive behavior in fish[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2003, 28(1):229-235.
- [24] 林慧玥,钱凯,白家秀,等. 斜纹夜蛾嗅觉反应昼夜节律及其调控机制[J]. 温州医科大学学报,2017,47(8):553-560.
LIN H Y, QIAN K, BAI J X, et al. Olfactory response to circadian rhythm and its regulation mechanism of *Spodoptera litura* [J]. Journal of Wenzhou Medical University, 2017, 47(8):553-560.

Animal Sciences

Disruptive Effect of Subacute Photoperiod on Reproductive Behaviors of Male Zebrafish and the Synergistic Disruptions of Unexposed Females

XIE Chengting, LI Yingwen, LIU Zhihao

(Chongqing Engineering Research Center of Bioactive Substances, Chongqing Key Laboratory of Animal Biology, College of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] To explore the subacute impairment of different photoperiods on the reproductive behavior of male zebrafish (*Danio rerio*), and the indirect disruption on the unexposed female. [Methods] Adult male zebrafish were exposed to 12 h light : 12 h dark (the control), 6 h light : 18 h dark (short photoperiod) and 16 h light : 8 h dark long photoperiod) for 7 days, and various behavioral parameters of both male and female were counted and analyzed. [Findings] Compared with the control: 1) No significant change on the encounter frequency and chase frequency of zebrafish in both exposed groups was observed; 2) The frequency and time of both sexes in spawning area significantly decreased in both exposed groups; 3) The frequency and time of male in spawning area significantly decreased in both exposed groups, while those of female significantly decreased only in the long photoperiod group. [Conclusions] Both long and short photoperiods interfered with the reproductive behavior of male zebrafish, which further gave rise to synergistic disruption on the paired females that had not been exposed to the same treatment.

Keywords: photoperiod; subacute exposure; zebrafish; reproductive behavior; synergistic disruption

(责任编辑 方 兴)