



光唇鱼对单色光偏好的性别差异及相关生理机制

颀志刚, 杨范利

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

摘要: 为探究溪流性鱼类光唇鱼(*Acrossocheilus fasciatus*)对光色的偏好是否存在性别差异, 以及芳香化酶作为催化睾酮(T)向雌二醇(estradiol, E2)转化的限速酶在行为调节中的关键角色, 本研究采用行为学方法研究了雌鱼和雄鱼对6种单色LED光源的选择偏好, 并尝试利用药物抑制体内芳香化酶活力从而改变血浆性激素水平和鱼的行为表现。结果表明, 雌鱼和雄鱼分别相对偏好红光(峰值为637 nm)和黄光(590 nm), 两者均相对排斥蓝光(465 nm)、紫光(405 nm)以及含有蓝光波段的白光(447 nm), 而对绿光(518 nm)的偏好不明显。摄食含有芳香化酶抑制剂来曲唑(letrozole, LZ)的实验饲料10 d后, 雌性和雄性光唇鱼脑和性腺组织内芳香化酶活力和血浆E2水平均显著下降, 但血浆T水平无显著变化。值得注意的是, LZ也导致处理鱼对光色选择偏好的改变, 雌鱼转为相对偏好蓝光, 雄鱼转为相对偏好红光。然而, 摄入含LZ+E2实验饲料后除芳香化酶活力降低外, T、E2两种性激素水平和光色偏好行为表现均未出现明显变化。因此推测光唇鱼对光色偏好的性别差异极可能与体内芳香化酶活力和雌二醇水平的性别差异有关, 而与睾酮水平无明显关联。

关键词: 光唇鱼; 光谱偏好; 性别差异; 芳香化酶; 睾酮; 雌二醇

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)10-1263-09

鱼类视觉系统具有区分光谱的能力, 而且不同光谱成分对鱼类的生长表现、性腺发育和行为表现具有广泛且重要的影响^[1-3]。鱼类在进化过程中为适应各自生境, 其视网膜细胞内视觉色素蛋白的组成存在物种差异, 因而对不同波段光谱的敏感性也存在较大差异, 并在行为上表现出偏好性^[4-5]。利用鱼类对趋光性和特定光色的偏好可以改善养殖鱼类的福利状况^[6], 引导鱼类进入鱼道从而完成洄游^[7], 以及提高游钓成功率和海洋渔业灯光诱捕效率等^[8]。然而, 有关不同性别的鱼类对光色偏好性研究尚未见报道^[9-12]。由于鱼类在发育早期过程中受到性激素的调控, 导致不同性别的个体在器官结构、神经内分泌、生理反应以及行为表现上出现较大的变化。认识鱼类对光色偏好是否存在性别差异以及引起这种行为差异的生理调控机制, 对鱼类的保护生物学、繁殖生物学研究以及渔业生产实践具有重要的指导意义。

性激素通过在脑内不同功能区的受体发挥其生物学作用, 最终影响动物对环境的感知、认知及相关的行为表现。睾酮(testosterone, T)和雌二醇(estradiol, E2)是决定脊椎动物性别分化和调节性腺发育以及繁殖行为的关键性激素^[13], 而芳香化酶(aromatase, CYP19A)是催化睾酮、雄烯二酮等雄激素转化为雌激素的关键酶^[14], 因此芳香化酶活性的改变可直接影响体内雌二醇的水平, 而雌二醇会对人类和动物的空间感知、物体识别、学习记忆和多种行为表现产生重要影响^[15]。本研究提出的科学问题是: 如果鱼类对特定光色的选择偏好存在性别差异, 那么这种行为差异的生物学基础是否与芳香化酶的活力和性激素的水平有关?

光唇鱼(*Acrossocheilus fasciatus*)是一种典型的溪流性鲃亚科鱼类, 该鱼存在明显的两性异形现象, 而且繁殖期雄性的鳍和腹部颜色会呈现出桃红色的婚姻色^[16]。目前光唇鱼在我国部分南方

收稿日期: 2021-03-25; 修订日期: 2021-04-29.

基金项目: 浙江省公益技术用研究计划国际合作项目(2017C34006).

作者简介: 颀志刚(1978-), 博士, 副教授, 研究方向为水产动物生理生态学. E-mail: xiezhiang@126.com

省份已实现人工繁育和规模养殖,目前作为一种具有高经济价值的特色溪鱼地方品种进行推广养殖。但是,光唇鱼两性间存在明显的异速生长现象,即雌鱼生长速率明显快于雄鱼^[17]。在工厂化养殖实践中光唇鱼单位水体产量不高,实行单性养殖并针对不同性别的差异化需求提供相应的环境条件可能是解决这一问题的有效途径。基于光照是室内工厂化养殖中较为容易控制的环境因子,预期未来可通过给雌鱼和雄鱼分别提供精准且适宜的光谱照射环境来改善鱼的福利状态,从而提高养殖成效。为此,本研究利用行为学方法研究了雌鱼和雄鱼对不同光色环境的选择偏好,进而尝试通过药物抑制芳香化酶活力来探究相关行为的生理调节机制。本研究可为光唇鱼的单性养殖提供理论依据,但实际应用效果尚需要进一步研究。

1 材料与方法

1.1 实验用鱼及驯养条件

光唇鱼亚成体购自浙江省金华市某养殖场,驯养在实验室内循环水养殖系统中,养殖桶($\Phi=1.2$ m, $H=1.0$ m)内壁为灰色,水深为 0.6~0.7 m,水温控制在 20~21 °C,溶氧为 6.5~7.5 mg/L, pH 为 7.2~7.3,氨氮等水质指标长期控制在安全范围内并保持稳定。光周期为 12L:12D。日投喂量为体重的 2%,分两次投喂(9:30 和 17:30)。鱼在此驯化条件下饲养 3 个月后可根据形态区分雌雄,用于后续研究。

1.2 光色环境的选择偏好及性别差异

1.2.1 行为学实验装置 光色选择行为学实验装置由实验水槽、光源、视频监控、加热棒等构成(图 1)。圆柱状实验水槽($\Phi=80$ cm, $H=40$ cm)为透明亚克力材质,利用灰色 PVC 隔板将水槽内部均分成 6 个区域,隔板与水桶底部之间留有 5 cm 的空隙以便于鱼在不同区域随意游动。与隔板焊接的 PVC 中央管壁(直径 6.3 cm)具多个小孔,管内放置加热棒以控制水温。实验水槽外壁安装 6 块 LED 灯板(13.5 cm×6.5 cm),正对各区域中央,颜色分别为红光(峰值为 637 nm)、黄光(峰值为 590 nm)、绿光(峰值为 518 nm)、蓝光(峰值为 465 nm)、紫光(峰值为 405 nm)和白光(峰值为

447 nm),采用激光光谱分析仪(UPPtek)对 LED 光源进行测定,光谱组成如图 2 所示,可通过电压调节器调节灯光的明暗,辐照强度为 0.1~0.15 W/m²,经预实验表明光唇鱼在此范围内行为无异常。视频监控装置固定在实验水槽正上方约 50 cm 处,通过调焦使视野可覆盖整个水槽。

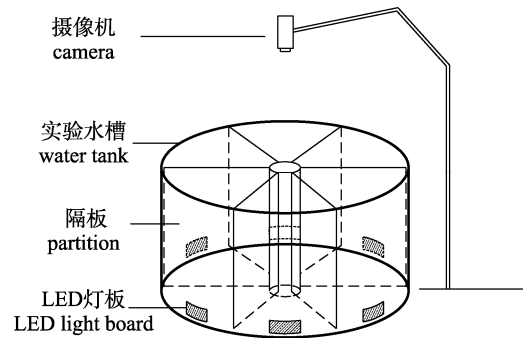


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 The experimental device

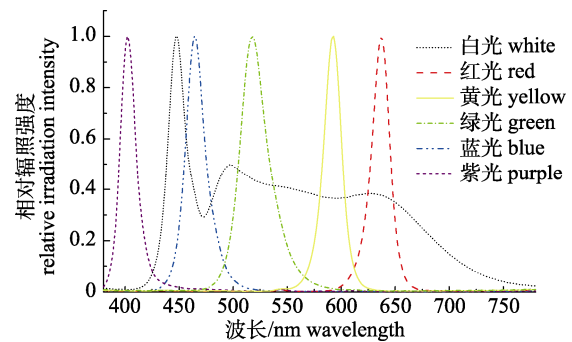


图 2 LED 光源的光谱分布图

Fig. 2 The spectrum distribution of LED lights

1.2.2 行为学实验设计 选择雌鱼[体重(22.4±1.5) g]和雄鱼[体重(22.5±1.9) g]各 15 尾作为实验鱼。行为学实验水槽内水深为 15 cm,水源与驯化条件相同,水温控制在 20 °C,随机放入一尾实验鱼后用遮光布覆盖整个实验装置以防止外界光线干扰,保持环境安静。首先暗适应 30 min,然后开启 LED 灯和摄像机,录制时间为 2 h,实验结束后换水,更换实验鱼,实验重复 15 次。采用 ANY-maze 行为学分析软件(Stoelting, 美国)统计鱼在不同光色区域的滞留时间,并生成行为轨迹热图。

1.3 芳香化酶抑制剂对光唇鱼芳香化酶活性、性激素水平及光色偏好行为的影响

选择体重(22.8±1.3) g 雌鱼和体重(22.3±1.4) g 雄鱼各 60 尾随机分入循环水养殖系统的 3 个养殖

桶内(20 尾/桶, 性比 1 : 1), 分别投喂 3 种饲料。实验饲料制备方法是将药物溶解于乙醇内均匀喷洒到膨化饲料表面, 对照饲料仅喷洒等量乙醇, 常温干燥后备用。饲料内芳香化酶抑制剂来曲唑(letrozole, LZ)和雌二醇(E2)的添加量参考相关文献^[18-19], 两种实验饲料的药物含量分别为 1 g LZ/kg 和 1 g LZ+0.1 g E2/kg, 对照饲料不含药物。投喂前取雌、雄鱼各 3 尾用于芳香化酶活力和血浆性激素含量的初始测定, 药物处理 10 d 后再次取样, 其余个体进行光色偏好行为学实验, 方法同 1.2.2。

鱼经 MS222 (浓度 0.8 g/L)深度麻醉后经尾静脉取血(注射器经抗凝剂提前浸润), 将血液注入含有 20 μ L 抗凝剂(0.109 mol/L 柠檬酸钠)的离心管中, 混合后离心(3500 r/min, 4 $^{\circ}$ C) 15 min, 上清用于性激素测定。解剖后, 迅速取脑组织和性腺组织在冰上进行匀浆, 匀浆液离心(13800 r/min, 4 $^{\circ}$ C) 15 min, 上清液用于芳香化酶活力测定。血浆睾酮和雌二醇含量采用鱼类专用 ELISA 试剂盒(货号: AE16196FI-96T, AE46327FI-96T, Abebio, 美国)测定, 组织芳香化酶活力测定采用

Aromatase (CYP19A) Activity Assay Kit (Fluorometric) 试剂盒(货号: K983-100, BioVision, 美国), 测定步骤详见试剂盒说明书, 测定仪器为全波长酶标仪(Infinite M1000 Pro, Tecan, 瑞士)。

1.4 数据分析 采用 SPSS 18 软件进行数据分析, 数据以平均值 \pm 标准差($\bar{x} \pm SD$)表示, 用 Levene test 和 Kolmogorov-Smirnov test 进行方差齐性和正态分布检验。利用单因素方差分析(one-way ANOVA)比较实验鱼在不同光色区域内的滞留时间是否存在差异, 若差异显著, 将采用 Tukey 检验进行多重比较。采用独立样本 *t* 检验比较药物处理前后血浆性激素浓度和组织芳香化酶活性的差异。

2 结果与分析

2.1 光唇鱼的光谱偏好及性别差异

光唇鱼在不同光色区域的滞留时间存在明显的性别差异。雌鱼在红光区域的滞留时间显著长于其他光色区域($P < 0.05$)(图 3a)。雄鱼在黄光区滞留时间显著长于紫光区($P < 0.05$), 但其在黄光区

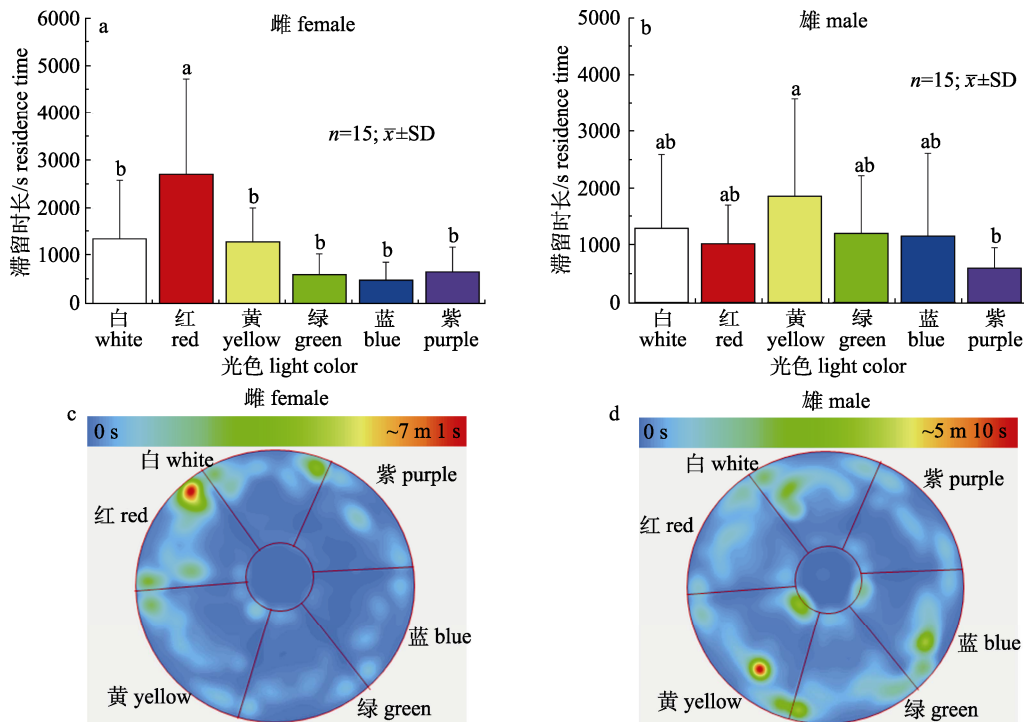


图 3 雌性和雄性光唇鱼在不同光色区域的滞留时长及行为轨迹
柱形图上方不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 3 Residence time and behavior trajectory of female and male *Acrossocheilus fasciatus* in different light color regions of the behavioral device
Different letters on the column indicate significant differences ($P < 0.05$).

或紫光区的滞留时间均与其他光色区域间无统计差异($P>0.05$)(图 3b), 结合行为轨迹热图(图 3c, 图 3d), 说明雌鱼对红光具有较为明确的偏好性, 而雄鱼相对偏好黄光。

2.2 芳香化酶抑制剂对光唇鱼芳香化酶活性、性激素水平及光色偏好行为的影响

2.2.1 芳香化酶抑制剂对光唇鱼芳香化酶活性和性激素水平的影响 雌性和雄性光唇鱼摄食实验

饲料(含 LZ 或 LZ+E2) 10 d 后脑组织和性腺芳香化酶活性出现显著下降($P<0.05$)(图 4a 和图 4b), 血浆睾酮水平未发现显著变化($P>0.05$)(图 4c), 而摄食含 LZ 饲料的光唇鱼血浆雌二醇(E2)水平发生显著下降($P<0.05$), 但摄食含 LZ+E2 饲料的鱼血浆 E2 水平则无显著变化($P>0.05$)(图 4d)。摄食对照饲料的光唇鱼各指标均无明显变化。以上结果说明 LZ 可通过抑制脑和性腺组织芳香化酶

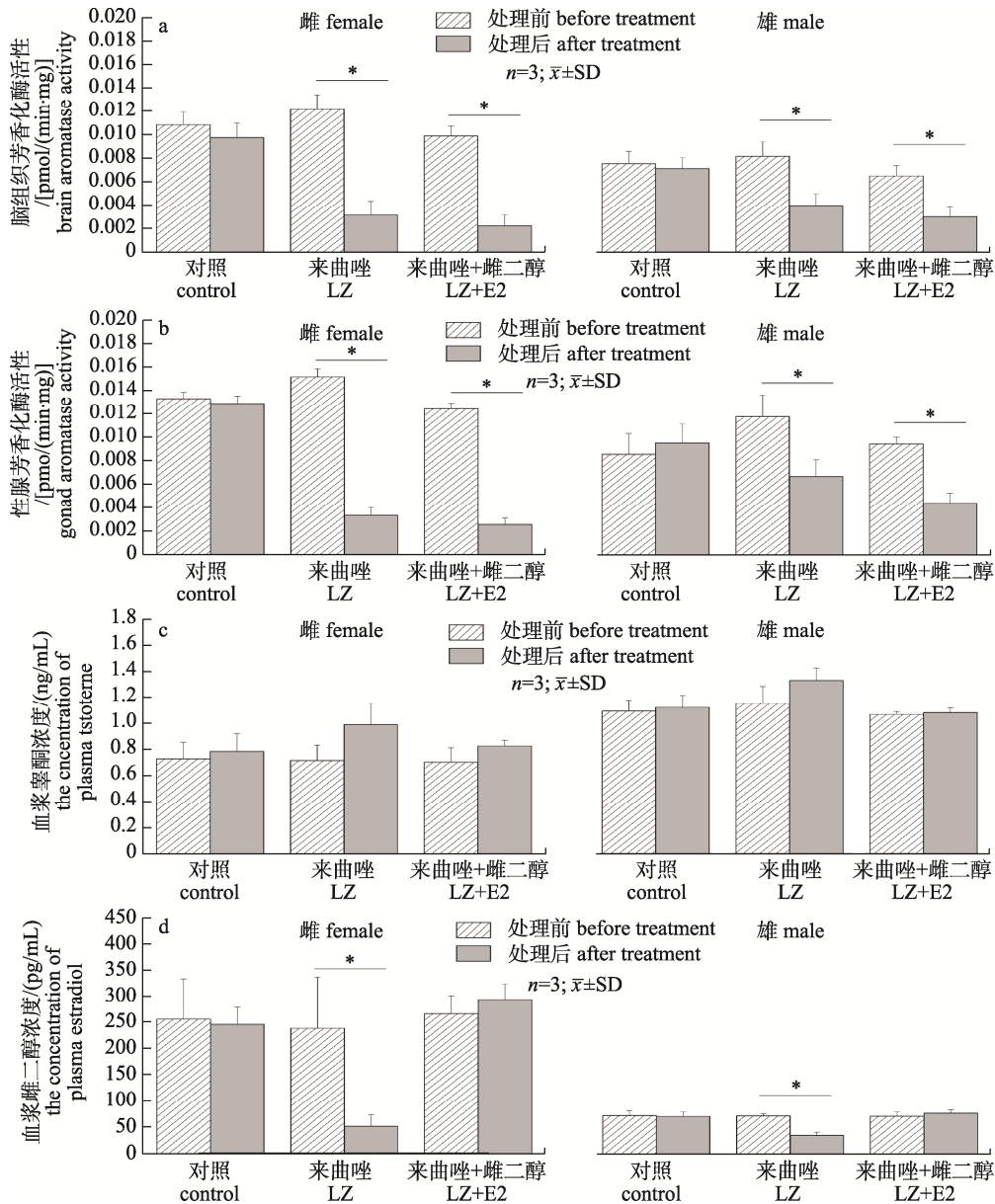


图 4 药物剂处理前后光唇鱼组织芳香化酶活性和血浆性激素含量的变化

* 表示差异显著($P<0.05$)。

Fig. 4 Changes of aromatase activity in different tissues and plasma sex hormone contents of *Acrossocheilus fasciatus* before and after drug treatment

* means significant difference ($P < 0.05$). LZ: letrozole; E2: estradiol.

活性降低血浆 E2 水平, 当同时补充外源性 E2 后可弥补内源性 E2 的减少。

2.2.2 芳香化酶抑制剂对光唇鱼光色偏好的影响 摄食对照饲料的雌鱼和雄鱼对光色的选择

偏好结果与上述实验结果基本一致, 雌鱼在红光区域的滞留时间显著长于蓝光和紫光区域($P < 0.05$) (图 5a), 但在与其他光色区域的滞留时间无统计学差异, 结合行为轨迹热图(图 5d), 均表明其最

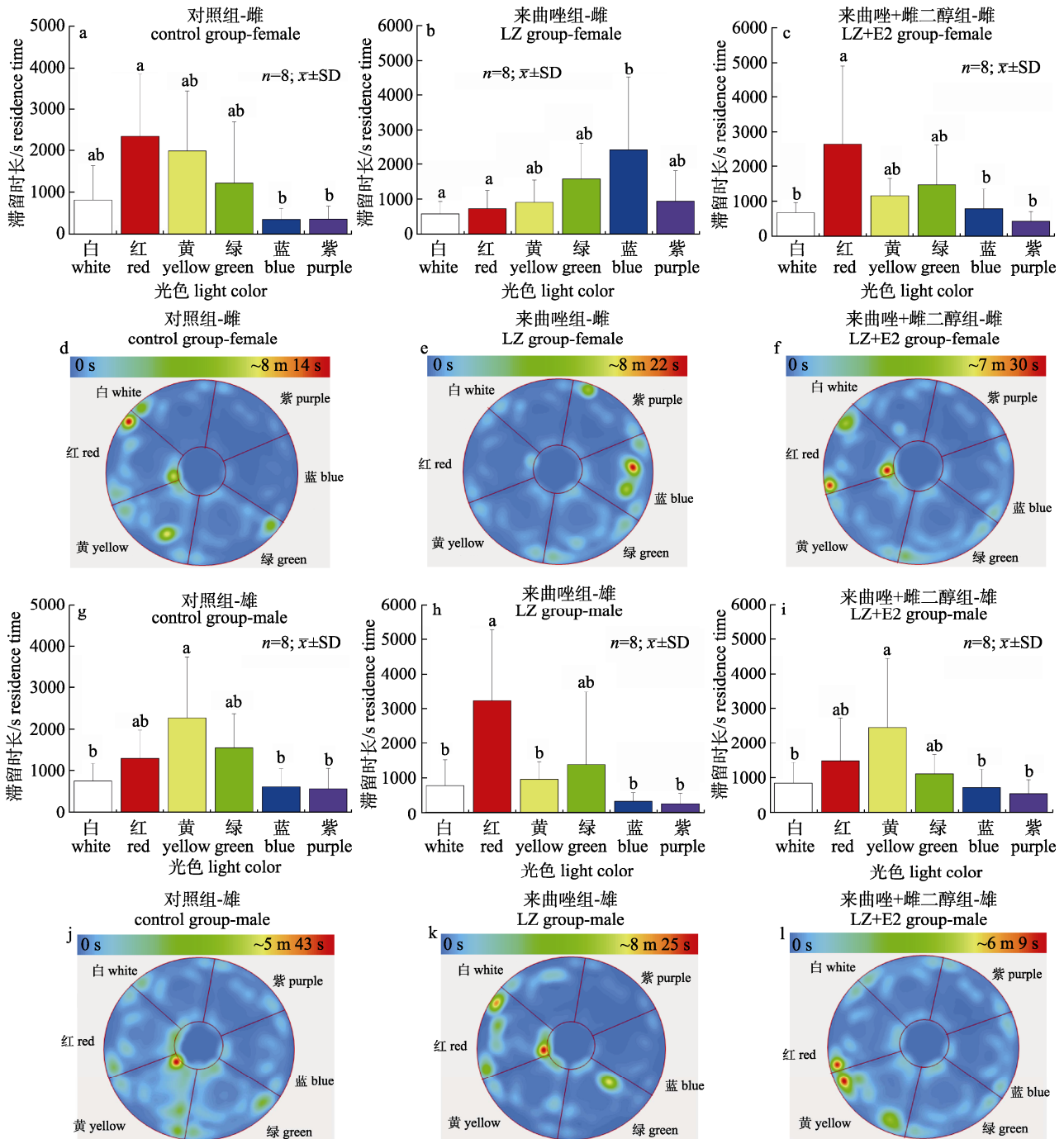


图 5 药物处理对雌雄光唇鱼在不同光色区域的滞留时长及行为轨迹的影响

柱形图上方不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$).

Fig. 5 Effects of drug treatment on residence time and behavior trajectory of female and male *Acrossocheilus fasciatus* in the areas of different light colors

Different letters on the column indicate significant difference ($P < 0.05$). LZ. letrozole; E2. estradiol.

偏好红光。雄鱼在黄光区域的滞留时间显著多于蓝光、紫光和白光区域($P<0.05$)(图 5g), 但与在红光和绿光区域的滞留时间无显著差异, 结合行为轨迹热图说明其最偏好黄光(图 5j)。

有趣的是, 摄食 LZ 饲料的雌鱼和雄鱼对光色的偏好均发生了较大程度的改变。雌鱼停留在蓝光区域的时长明显增加, 且显著长于在红光和白光区域的滞留时间($P<0.05$)(图 5b), 与在黄光、绿光和紫光下的滞留时间无统计学差异, 行为轨迹热图也表明雌鱼最喜欢的光色由红光转为蓝光(图 5e)。雄鱼在红光区域的滞留时间显著长于除绿光区域外的其他光色区域($P<0.05$)(图 5h), 结合行为轨迹热图表明雄鱼最喜欢的光色由黄光转为红光(图 5k)。

然而, 摄食含 LZ+E2 饲料的雌鱼或雄鱼对光色的选择偏好未发生明显改变。雌鱼在红光下的停留时间显著长于白光、蓝光和紫光($P<0.05$)(图 5c), 但与在黄光和绿光下的停留时间无统计学差异, 结合行为轨迹热图(图 5f), 表明雌鱼仍然最偏好红光。雄鱼在黄光下的停留时间显著长于白光、蓝光和紫光($P<0.05$)(图 5i), 与在其他光色下的停留时间无统计学差异, 行为轨迹图也表明雄鱼最喜欢黄光(图 5l)。

3 讨论

由于水下光谱组成的动态变化直接影响鱼类的摄食、逃避敌害、求偶等行为表现, 而鱼类可通过视网膜视蛋白感知周围环境光色的变化并在行为上做出响应和调节, 以提高自身的适合度。在本研究中两次行为学研究均表明雌性和雄性光唇鱼分别相对偏好红光和黄光, 且两者在多数情况下对蓝光和紫光存在排斥, 而对绿光的偏好或排斥行为均不明显。另外, 光唇鱼对白光也表现出一定的排斥现象, 这可能与所选白色 LED 光源的光谱组成中包含较强的蓝光波段(波峰 447 nm)有关。虽然有关鱼类的光色偏好行为学研究已有较多报道^[10-11,20-21], 但此类行为背后的机理并不清楚, 除鱼本身对光环境的主动适应外, 还可能是某些单色光对鱼具有特殊且复杂的生物学意义, 如具有胁迫或抗胁迫作用可使鱼产生兴奋、焦虑、

抑郁等正面或负面情绪^[22-23], 有待进一步研究。

芳香化酶作为将雄激素转化为雌激素的限速酶主要在性腺和脑组织中表达, 其功能通常被认为与性腺发育和繁殖行为的调节有关, 但其功能并不局限于对生殖的调节。在大脑中芳香化酶具有调控突触活性、突触可塑性、神经发生以及神经组织对损伤的反应等多种生物学功能, 还可能在控制非生殖行为、情绪和认知等方面也具有重要作用^[24]。芳香化酶活力直接影响雌二醇(E2)的产生, 而体内 E2 的改变也能通过其脑内受体调控生物的行为^[25-26]。本研究结果初步证明了光唇鱼的光色偏好确实存在性别差异。然而, 当鱼体内芳香化酶活性受到抑制时, 血浆雌二醇(E2)水平下降, 雌鱼和雄鱼的光谱偏好均发生改变, 雌鱼由偏好红光转为蓝光, 而雄鱼则由偏好黄光转为红光, 即有雌性化趋势。但是, 通过同时补充外源性 E2 可消除因芳香化酶受到抑制而导致的内源性 E2 的减少, 并且雌鱼和雄鱼也保持正常的光色偏好。另外, 睾酮作为芳香化酶的底物在摄入药物前后均未发生明显变化。因此, 推测光唇鱼对光色偏好的性别差异极可能与雌鱼和雄鱼体内芳香化酶活力差异以及由此造成的雌二醇水平差异有关, 而与睾酮水平无明显关联。

鱼类的光色偏好与其栖息环境、摄食习性间存在密切关系。根据光线在水中的传播原理, 长波光不能穿透较深的水层, 而短波光可进入深水层^[27]。生活于水体中上层的鱼类通常偏好长波光, 如尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)和鳙(*Hypophthalmichthys nobilis*)分别偏好黄光和红光^[20, 28], 而深海鱼类通常偏好短波光, 如大西洋蓝枪鱼(*Makairanig nigricans*)、立翅旗鱼(*Makaira indica*)、旗鱼(*Istiophorus platypterus*)分别对蓝绿光、蓝紫光和绿光更敏感^[29]。又如鳊(*Siniperca chuatsi*)喜藏匿于黑暗条件下伏击猎物, 其对蓝光的偏好性高于红、黄光^[30], 喜穴居的欧洲鳗鲡(*Anguilla anguilla*)更偏好紫光^[21]。在本研究中, 光唇鱼作为一种典型的溪流性鱼类对长波光具有较强的偏好性, 这可能与长期适应溪流水体的光谱组成有关。关于雌鱼对红光的偏好, 作者另一项研究表明, 红光结合长光周期可协同加速光唇鱼卵巢的

发育并提高血浆褪黑素的水平^[31], 这进一步说明红光对雌鱼具有特殊的生理意义。此外, 有趣的是, 雄性光唇鱼在繁殖期腹部呈现出鲜艳的红色婚姻色, 这是否与雌鱼对红光偏好有关, 有待进一步研究。因此, 推测鱼类在进化中可能根据栖息环境的光谱特征选择一种或多种光色作为信号, 并根据其变化调整自身行为以适应周围环境的变化。在实践中人们可以利用鱼类对光色的偏好, 通过提供特定光谱组成的光源来改善养殖鱼类的福利条件以及调节鱼类的生长与繁殖。

参考文献:

- [1] Karakatsouli N, Papoutsoglou S E, Pizzonia G, et al. Effects of light spectrum on growth and physiological status of gilt-head seabream *Sparus aurata* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared under recirculating system conditions[J]. *Aquacultural Engineering*, 2007, 36(3): 302-309.
- [2] 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(1-4): 188-192.
- [3] Gehrke P. 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.
- [4] Kusmic C, Gualtieri P. Morphology and spectral sensitivities of retinal and extraretinal photoreceptors in freshwater teleosts[J]. *Micron*, 2000, 31(2): 183-200.
- [5] Song C B, Li X, Shi C. Analysis of artificial light source selection based on visual sensitivity of aquatic animals[J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2020, 31(5): 51-57. [宋昌斌, 李贤, 史策. 基于水产动物视觉敏感性对人工光源选择的分析[J]. *照明工程学报*, 2020, 31(5): 51-57.]
- [6] 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.
- [7] Vowles A S, Anderson J J, Gessel M H, et al. Effects of avoidance behaviour on downstream fish passage through areas of accelerating flow when light and dark[J]. *Animal Behaviour*, 2014, 92: 101-109.
- [8] An Y I, Jeong H G. Catching efficiency of LED fishing lamp and behavioral reaction of common squid *Todarodes pacificus* to the shadow section of color LED light[J]. *Bulletin of the Korean Society of Fisheries Technology*, 2011, 47(3): 183-193.
- [9] Sullivan B G, Wilson A D M, Gutowsky L F G, et al. The behavioral responses of a warmwater teleost to different spectra of light-emitting diodes[J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 2016, 36(5): 1000-1005.
- [10] Luchiaro 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.
- [11] 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.
- [12] Xu J W, Chen J, Lin C Y, et al. The phototaxis behavior of *Schizothorax prenanti* in low light intensity[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(8): 2394-2402. [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.]
- [13] Jiang Z G. *Animal Behavior Principle and Species Protection Method*[M]. Beijing: Science Press, 2004: 16. [蒋志刚. *动物行为原理与物种保护方法*[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 16.]
- [14] Miller W L. Minireview: regulation of steroidogenesis by electron transfer[J]. *Endocrinology*, 2005, 146(6): 2544-2550.
- [15] Taxier L R, Gross K S, Frick K M. Oestradiol as a neuro-modulator of learning and memory[J]. *Nature Reviews Neuroscience*, 2020, 21(10): 535-550.
- [16] Mao J R, Xu S S. *Fauna of Zhejiang: Fresh Water Fishes*[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Publishing Hangzhou, 1991: 106-107. [毛节荣, 徐寿山. *浙江动物志·淡水鱼类*[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1991: 106-107.]
- [17] Zhang Y M, Cheng S, Jiang J H, et al. Primary study on the growth of *Acrossocheilus fasciatus* in cultivation[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012, 21(4): 542-548. [张玉明, 程顺, 姜建湖, 等. 养殖光唇鱼生长的初步研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2012, 21(4): 542-548.]
- [18] Li Y J, Wu L M, Wang L, et al. Molecular cloning and characterization of *cyp19a1b* gene and the effect of Letrozole on its expression in *Carassius auratus*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(8): 1169-1180. [李永婧, 吴利敏, 王磊, 等. 淇河鲫 *cyp19a1b* 基因的克隆表达及芳香化酶抑制剂对其表达的影响[J]. *水产学报*, 2018, 42(8): 1169-1180.]
- [19] Liu Y, Wen H S, Li J F, et al. Effects of different salinities and estradiol feeding on growth performance of *Lateolabrax maculatus* juveniles[J]. *Marine Sciences*, 2017, 41(6): 9-17.

- [刘阳, 温海深, 李吉方, 等. 不同盐度与雌二醇投喂对花鲈幼鱼生长性能的影响[J]. 海洋科学, 2017, 41(6): 9-17.]
- [20] Luchiani A C, do Amaral Duarte C R, de Morais Freire F A, et al. Hierarchical status and colour preference in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Journal of Ethology, 2007, 25(2): 169-175.
- [21] Kulinski W, Styczynska-Jurewicz E. Light spectrum preference in the European eel *Anguilla anguilla* (L.)[J]. Archives of Polish Fisheries, 2002, 10(2): 167-175.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Garcia-Segura L M. Aromatase in the brain: Not just for reproduction anymore[J]. Journal of Neuroendocrinology, 2008, 20(6): 705-712.
- [25] Beyer C. Estrogen and the developing mammalian brain[J]. Anatomy and Embryology, 1999, 199(5): 379-390.
- [26] Lephart E D. A review of brain aromatase cytochrome P450[J]. Brain Research Reviews, 1996, 22(1): 1-26.
- [27] Lythgoe J N. Light and vision in the aquatic environment[M]//Sensory Biology of Aquatic Animals. New York: Springer, 1988: 57-82.
- [28] Qin X H, Wang C F, Mo W J, et al. Effect of light color and intensity for attracting *Aristichthys nobilis*[J]. Journal of Hydroecology, 2015, 36(3): 66-71. [秦孝辉, 王从锋, 莫伟均, 等. 鳊对光色和光强的选择性试验[J]. 水生态学杂志, 2015, 36(3): 66-71.]
- [29] Fritsches K A, Partridge J C, Pettigrew J D, et al. Colour vision in billfish[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences, 2000, 355(1401): 1253-1256.
- [30] Wei K J, Zhang G R, Zhang H M. Studies on the phototactic characteristics of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) during different development stages[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2001, 20(2): 164-168. [魏开建, 张桂蓉, 张海明. 鳊鱼不同生长阶段中趋光特性的研究[J]. 华中农业大学学报, 2001, 20(2): 164-168.]
- [31] Xie Z G, Lu J G. The effect of photoperiod and red light on ovary development and oxidative stress status in a stream fish (*Acrossocheilus fasciatus*)[J]. Journal of Fisheries Research, 2018, 40(2): 111-119. [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.]

Sex differences in the preference for monochromatic light and the associated physiological mechanisms in a stream-dwelling fish, *Acrossocheilus fasciatus*

XIE Zhigang, YANG Fanli

Zhejiang Provincial Key Laboratory of Biotechnology and Protective Utilization of Wild Animals, College of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China

Abstract: The aim of the present study was to investigate sex differences in light color preference and the key role of aromatase in the conversion of testosterone (T) to estradiol (E2) in the regulation of this preference in a stream-dwelling fish, *Acrossocheilus fasciatus*. Six monochromatic lights were tested. The effects of reduced aromatase activity, via drug inhibition, on plasma sex hormone levels (T and E2) and the preferences between sexes were investigated. The results showed that female and male fish preferred red light (around 637 nm in wavelength) and yellow light (590 nm), respectively. However, they were repelled by blue light (465 nm), purple light (405 nm), and white light with blue spectrum (447 nm), while the preference for green light (518 nm) was not obvious. Feeding the fish an experimental diet containing the aromatase inhibitor, letrozole (LZ), over 10 days, resulted in a significant reduction in the aromatase activity level in the brain and gonadal tissues, as well as in the plasma E2 level, but no change in the plasma T level was observed. Surprisingly, LZ also caused an obvious change in the color preference of lighting; i.e., females preferred blue light and males preferred red light after treatment. However, no significant changes occurred in the levels of T and E2; nor were there any in the preferences, except for the decrease in aromatase activity levels in both the females and the males fed with another experimental feed containing LZ+E2. In conclusion, the sex differences in the color preference of lighting in these fish are most likely related to the sex differences in aromatase activity and estradiol levels, but not significantly related to the testosterone levels.

Key words: *Acrossocheilus fasciatus*; spectral preference; sex difference; aromatase; testosterone; estradiol

Corresponding author: XIE Zhigang. E-mail: xiezhigang@126.com