

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2022.06.005

两种增色剂对阿里雌鱼生长及体色调控的研究^①

姜巨峰^{1,2}, 周勇², 史东杰³, 刘肖莲²,
刘克明², 李春艳², 韩现芹², 牟希东¹, 宋红梅¹

1. 中国水产科学研究院珠江水产研究所/农业农村部休闲渔业重点实验室, 广州 510380;

2. 天津市水产研究所/天津市观赏鱼技术工程中心, 天津 300221;

3. 北京市农林科学院, 北京 100068

摘要: 为探索饲料中添加雄烯二酮和睾酮对阿里雌鱼生长及体色的影响, 将 810 尾初始体质量为 5.78 ± 1.05 g 的阿里雌鱼随机分为 9 组, 每组 3 个平行, 每个平行 30 尾鱼, 对照组投喂基础饲料, 试验组分别投喂含 100, 200, 300, 400 mg/kg 雄烯二酮 (A100, A200, A300, A400 组) 和 100, 200, 300, 400 mg/kg 睾酮 (T100, T200, T300, T400 组) 8 个浓度梯度的饲料. 观察 8 周增色时间和 4 周停药期鱼的生长及体色变化情况. 结果显示: 不同浓度的雄烯二酮和睾酮对阿里雌鱼的成活率没有影响, 均为 100%. A200 组的阿里雌鱼特定生长率 (SGR) 最高, 为 0.39, 显著高于 T100, T200, T400 组和对照组 ($p < 0.05$). 8 周增色后, A300 组的阿里雌鱼体色总色差值 (ΔE^*_{ab})、黄蓝度值 (b^*) 与 A400, T300 组差异无统计学意义 ($p > 0.05$), 但均小于其他各组 ($p < 0.05$); 在后 4 周停药期中, 体色呈现先增艳后又缓慢减弱的现象, 仍维持在体色较艳的程度. 结果表明, 饲料中添加雄烯二酮比睾酮更有效地促进了阿里雌鱼的生长和增色, A300, A400 组增色后的阿里雌鱼体色能够稳定 4 周, 阿里雌鱼适宜增色剂及添加量为雄烯二酮 300 mg/kg.

关键词: 雄烯二酮; 睾酮; 阿里雌鱼; 生长; 增色

中图分类号: S963.7

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2022)06-0027-07

Effects of Androstenedione and Testosterone on Growth and Body Pigmentation of Female *Sciaenochromis Fryeri*

JIANG Jufeng^{1,2}, ZHOU Yong², SHI Dongjie³,
LIU Xiaolian², LIU Keming², LI Chunyan²,
HAN Xianqin², Mu Xidong¹, SONG Hongmei¹

1. Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/

Key Laboratory of Recreational Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510380, China;

2. Tianjin Fisheries Research Institute / Tianjin Ornamental Fish Technology and Engineering Center, Tianjin 300221, China;

3. Beijing Academy of Agriculture and Forestry Science, Beijing, 100068, China

Abstract: In order to study on the effects of androstenedione and testosterone on growth and body colour in

① 收稿日期: 2021-07-05

基金项目: 农业农村部休闲渔业重点实验室开放基金项目(201903); 天津农业农村委、天津市财政局项目(ITTMR2021004); 北京市观赏鱼种质创制及品种选育联合攻关项目(GSY-LHGG-10).

作者简介: 姜巨峰, 硕士, 高级工程师, 主要从事观赏鱼种质创新与品级提升的研究.

通信作者: 宋红梅, 副研究员.

female *Sciaenochromis fryeri*. Eight hundred and ten fishes with initial body weight of 5.78 ± 1.05 g were randomly divided into 9 groups, the experiment groups fed the diets containing Androstenedione (100, 200, 300, 400 mg/kg) and testosterone (100, 200, 300, 400 mg/kg) respectively for 8 weeks, the control group fed the basal diet without any color enhancer. After 8 weeks, all fishes were fed the control diet for 4 weeks. Growth performance and body pigmentation of female *Sciaenochromis fryeri* were determined every 2 weeks during the 12 weeks experimental period. The results showed that the average survival rate of each group of female *Sciaenochromis fryeri* was 100%, the fish fed the experimental diets containing androstenedione and testosterone had significantly higher the specific growth rate (SGR) compared with the fish in control group, and the highest SGR was A200 group 0.39, which was significantly higher than that of T100, T200, T400 and control groups ($p < 0.05$). The color aberration ($\Delta E^* ab$) and b^* value of A300 group was not significantly difference with the A400 and T300 group ($p > 0.05$), but which were significantly lower than other groups ($p < 0.05$). After enhancing the colouration of female *Sciaenochromis fryeri* for 8 weeks, the fish colour of A300 and A400 groups were raised somewhat, and then decreased slightly, the fish colour was remained at stable level constantly. The experiments indicated that the average growth and pigmentation performance of androstenedione were better than that of testosterone's ($p < 0.05$), and the optimal recipe was androstenedione 300 mg/kg.

Key words: androstenedione; testosterone; female *Sciaenochromis fryeri*; growth; body pigmentation

观赏鱼已成为继狗、猫日常消费的世界第三大宠物。阿里鱼(*Sciaenochromis fryeri*)是观赏鱼市场上较为畅销的品种,属硬骨鱼纲,鲈形目,慈鲷科,鬼丽鱼属。阿里鱼雄鱼拥有艳丽的金属蓝体色,观赏价值和经济价值大,而雌鱼和幼鱼大多呈现单调的灰色,观赏价值和经济价值小。

目前国内外学者对阿里鱼的研究较少,仅见繁养技术、营养等方面的报道^[1-4],而对其增色技术尚未见相关报道。雄性激素在促进鱼类增色研究中的应用较为广泛,目前已见在斑马鱼(*Brachydanio rerio*)、剑尾鱼(*Xiphophorus helleri*)、珍珠玛丽鱼(*Mollienisia velifera*)等多种鱼类^[5-12]增色方面进行了研究,应用最多、最广泛的雄性激素是甲基睾酮(Methyltestosterone)。近些年来,甲基睾酮在动物食品中属于禁用药。在观赏鱼养殖行业中,由于养殖出的观赏鱼只是用来欣赏而不食用,在养殖水环境可控可安全处理的前提下,养殖户由于经济效益的驱使,常使用甲基睾酮对观赏鱼进行增色出售,如果管控不好,会对环境造成污染。在当前环保要求及养殖尾水处理达标的双重标准下,探讨甲基睾酮作为增色剂的替代品意义重大。雄烯二酮(Androstenedione)、睾酮(Testosterone)也属于雄性激素,可以作为药物或增色剂应用于水产动物中,但应用其对水产动物增色的技术研究报道较少。本文以阿里雌鱼为研究对象,通过在饲料中分别添加不同剂量的雄烯二酮和睾酮配置功能饲料,探讨不同功能饲料对阿里雌鱼生长及体色的影响,旨在确定出阿里雌鱼增色的适宜增色剂和添加量,同时也为筛选出甲基睾酮增色剂安全有效的替代品提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 阿里增色饲料

试验饲料以阿里鱼养殖普通饲料为基础饲料(表1),分别配置含有 100, 200, 300, 400 mg/kg 雄烯二酮(标记为 A100, A200, A300, A400 组)和 100, 200, 300, 400 mg/kg 睾酮(标记为 T100, T200, T300, T400 组) 8 个浓度梯度的试验饲料。分别称取一定量的雄烯二酮和睾酮溶解在 95% 的乙醇中,配制成 10 mg/mL 的母液, 4 °C 保存备用。配制饲料时使用 95% 的乙醇将母液稀释至所用浓度即可。激素饲料配制参照 El-Greisy 等^[13]进行,采用乙醇喷雾法均匀喷洒在饲料上, 50 °C 烘干 6 h,对照组饲料使用 95% 乙醇做同样处理。所有饲料烘干后,装袋放入 4 °C 冰箱备用,饲料的粒径为 2 mm。

1.2 增色试验

增色试验在天津市某养殖场进行。以阿里雌鱼为试验对象,随机挑选 810 尾规格一致、游动迅速、鳍条完整、110 日龄的健康阿里雌鱼放入水族缸(75 cm × 60 cm × 28 cm; LED 灯, 30 W, L/D=14:10)中,试

验共分为9组,每组3个平行,每个平行30尾鱼.在增色试验开始前,先用普通饲料投喂1周试验鱼,待鱼摄食稳定后,随机从各缸中取样,测定鱼的初始全长、体长、体质量后,试验组开始投喂增色饲料,对照组继续投喂普通饲料开始增色试验,阿里雌鱼初始体质量为 5.78 ± 1.05 g.养殖水温为 $22 \sim 24$ °C, pH值为 $7.8 \sim 8.0$,每天投喂2次,9:00和16:00各饱食投喂1次,持续投喂试验饲料8周;8周以后试验组改投普通饲料,每天正常投喂,观察试验鱼的体色变化情况,再持续养殖4周.在投喂饲料时,坚持少量多次的原则,鱼的摄食速度很快,基本上在3 s内饲料被摄食完毕,因此饲料中的营养物质不会溶失到养殖用水中造成水体环境的污染.当鱼吃饱后,及时将剩余漂在水面上的饲料捞出回收.

表1 基础饲料组成及营养分析

原料组成	比例/%	营养分析	比例/%
鱼粉	32	水分	12
豆粕	18	粗蛋白	34
花生饼	18	粗脂肪	4
面粉	19	粗灰分	16
鱼油	8	粗纤维	8
淀粉	2	总磷	0.5
磷酸二氢钙	1	赖氨酸	1.7
硫酸铜	0.5		
硫酸锰	0.5		
维生素预混料	1		
合计	100		

注:维生素预混料:VB₁ 25 mg/kg, VB₂ 45 mg/kg, VB₁₂ 0.1 mg/kg, V_{K3} 10 mg/kg, 纤维醇 800 mg/kg, 烟酸 200 mg/kg, 叶酸 1.2 mg/kg, 生物素 32 mg/kg, V_{D3} 5 mg/kg, V_E 120 mg/kg, 乙氧喹 150 mg/kg, 泛酸 500 mg/kg, 微晶纤维素 14.52 mg/kg.

1.3 样品测定

在试验第0,2,4,6,8,10,12周时,分别于每缸中随机各取10尾鱼,用0.1 mL/L浓度的丁香油将其麻醉,滤纸吸干其体表水分后,每尾鱼均按头部朝左的顺序放置,然后快速用色度色差仪(Konica Minolta CM-700 d,日本)测定其体表色度色差值,测定部位为腹部的前部、中部和后部,测定数据取平均值并与阿里真雄鱼的标准体表色度值(取13尾阿里真雄鱼进行测定,分别测定每尾鱼腹部的前部、中部和后部3个位置并取平均值,得出标准鱼色度值:明亮度值 L^* 为 35.62 ± 3.04 ;红绿色度值 a^* 为 0.06 ± 1.79 ;黄蓝色度值 b^* 为 -18.99 ± 2.79)进行比较,测出总色差值(ΔE^*_{ab})和黄蓝色度值(b^*),同时测其全长、体长、体质量指标.待测毕后,立即将鱼放入充氧的洁净水桶中进行苏醒,待鱼恢复正常后,将鱼放回到原缸中继续养殖.

1.4 数据计算与分析

阿里雌鱼特定生长率(SGR)^[14]计算公式如下:

$$SGR = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100\%$$

式中, W_t 为试验鱼终末体质量(g); W_0 为试验鱼初始体质量(g); t 为试验天数(d).

对每次测定的数据,使用SPSS 22.0软件进行单因素方差分析;当差异有统计学意义时,用Duncan氏多重比较方法进行多重比较;描述性统计值均以 $\bar{x} \pm s$ 表示.

2 结果

2.1 饲料中添加雄烯二酮、睾酮对阿里雌鱼生长及成活率的影响

从表2可以看出,不同浓度的雄烯二酮、睾酮对阿里雌鱼的成活率没有影响,均为100%.同等增色剂浓度下,雄烯二酮对阿里雌鱼增质量效率优于睾酮组,其中A200组终质量显著高于T200组($p < 0.05$).同时,随着两种增色剂添加量的增加,阿里雌鱼终质量呈现先升高后降低的趋势.A200组的阿里雌鱼SGR最高,为0.39,显著高于T100,T200,T400组和对照组($p < 0.05$).从表2可知,雄烯二酮组中虽然A200组的SGR最高,但与其他各组之间差异无统计学意义.从生长的角度来看,雄烯二酮的适宜添加量为

100 mg/kg; 睾酮组中 T300 组的 SGR 最高, 但与其他各组之间差异无统计学意义, 从生长的角度来看, 睾酮的适宜添加量为 100 mg/kg.

表 2 饲料中雄烯二酮、睾酮质量分数对阿里雌鱼生长及成活率的影响

质量分数 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	对照	雄烯二酮(A)				睾酮(T)			
	0	100	200	300	400	100	200	300	400
成活率/%	100	100	100	100	100	100	100	100	100
初始体质量/g	5.78±1.05	5.78±1.05	5.78±1.05	5.78±1.05	5.78±1.05	5.78±1.05	5.78±1.05	5.78±1.05	5.78±1.05
终质量/g	6.44±1.24a	8.23±1.89c	8.51±1.39c	8.18±1.48c	7.78±1.56bc	7.27±1.80ab	7.13±1.27ab	7.86±1.52bc	7.18±1.35ab
SGR	0.11±0.05a	0.35±0.12bc	0.39±0.04c	0.34±0.10bc	0.30±0.06bc	0.23±0.06ab	0.21±0.04ab	0.31±0.06bc	0.22±0.05ab

注: 小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.05$).

2.2 饲料中添加雄烯二酮、睾酮对阿里雌鱼体色的影响

2.2.1 饲料中添加雄烯二酮、睾酮对阿里雌鱼色差值($\Delta E^* ab$)的影响

$\Delta E^* ab$ 值代表测定鱼体色色度值与标准鱼的差距, 其值越小说明其测定色度值与标准体色值的差异越小. 从表 3 和图 1 可以看出, 雄烯二酮、睾酮对阿里雌鱼具有增色效应, 其与标准鱼的色差值随着增色时间的延长而逐渐变小. 所有试验组色差值均显著低于对照组($p < 0.05$), 雄烯二酮处理组增色效果优于睾酮组. 在投喂增色饲料 8 周时, A300, A400 组的色差值与 T300 组的色差值差异无统计学意义($p > 0.05$), 但均显著低于其余各组($p < 0.05$); T300, T400 组的色差值差异无统计学意义($p > 0.05$), 但均显著低于 T100, T200, A100, A200 组及对照组($p < 0.05$).

表 3 雄烯二酮、睾酮对阿里增色效果($\Delta E^* ab$)

	增色时间/周				停药时间/周		
	0	2	4	6	8	10	12
对照	32.01±4.67	26.12±4.36d	23.77±3.87d	23.48±3.73d	23.40±3.87e	22.86±3.82e	21.06±3.61e
A100	32.01±4.67	21.29±4.38bc	20.07±5.14c	19.26±4.98c	18.56±3.99cd	19.34±5.32d	16.32±5.73cd
A200	32.01±4.67	19.99±4.79abc	18.55±5.19c	17.88±5.11c	16.88±5.07c	15.93±4.21b	16.29±4.81cd
A300	32.01±4.67	18.85±5.17ab	16.16±3.71ab	13.60±4.65a	11.49±5.28a	11.11±4.96a	12.95±4.38ab
A400	32.01±4.67	17.83±3.83a	14.85±3.46a	13.96±4.59a	11.23±3.48a	11.52±3.80a	12.36±3.67a
T100	32.01±4.67	22.53±5.64c	19.28±4.72c	19.09±4.18c	19.52±4.70d	18.50±5.11cd	18.29±5.21d
T200	32.01±4.67	20.49±5.48abc	18.81±4.57c	17.99±5.12c	17.86±4.19cd	16.64±5.55bc	16.20±5.14cd
T300	32.01±4.67	18.44±5.54ab	18.09±5.07bc	16.69±4.60bc	13.55±4.23ab	13.04±5.35a	15.35±4.99bc
T400	32.01±4.67	18.52±4.12bc	15.30±2.64a	14.21±5.20ab	14.07±6.19b	13.00±3.79a	13.32±6.03ab

注: 小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.05$).

投喂 8 周增色饲料后改投普通饲料, 在第 10 周时, 除 A100 和 A400 组外, 各处理组色差值较第 8 周时色差值均有所下降. 从雄烯二酮和睾酮各处理组来看, A300, A400 组和 T300, T400 组色差值差异无统计学意义($p > 0.05$), 但均显著低于其余各组($p < 0.05$).

在第 12 周时, 除对照组, A100, T100, T200 组外, 其余处理组的色差值均高于第 10 周时各处理组的色差值. 从雄烯二酮和睾酮各处理组来看, A300, A400 组和 T400 组的色差值差异无统计学意义($p > 0.05$), 但均显著低于 A100, A200, T100, T200 组及对照组的色差值($p < 0.05$); T300 组色差值与 T400 和 A300 组差异无统计学意义($p > 0.05$).

2.2.2 饲料中添加雄烯二酮、睾酮对阿里雌鱼黄蓝色度值(b^*)的影响

b^* 值表示黄蓝色度值, + 表示偏黄, - 表示偏蓝. 从表 4 和图 1 可以看出, 阿里雌鱼体表 b^* 值随着增色时间的延长, 其 b^* 值呈现逐渐减小的趋势, 所有处理组均显著低于对照组($p < 0.05$). 在增色 8 周时, A400 组体表 b^* 值最低, 为 -12.97, 与 A300 处理组体表 b^* 值差异无统计学意义($p > 0.05$), 但显著低于其余各组($p < 0.05$); T300 组体表 b^* 值为 -10.03, 与 A300, T400 组体表 b^* 值差异无统计学意义($p > 0.05$), 但显著低于 A100, A200, T100, T200 组及对照组体表 b^* 值($p < 0.05$).

表4 饲料中雄烯二酮、睾酮对阿里增色效果(b^* 值)

	增色时间/周					停药时间/周	
	0	2	4	6	8	10	12
对照	3.91±2.46	3.14±2.69e	1.58±2.74e	1.15±2.54e	0.47±2.77g	-0.09±2.08e	-1.41±2.18e
A100	3.91±2.46	-0.86±3.83d	-2.28±3.96d	-3.50±3.67d	-4.24±3.43f	-3.22±3.70d	-3.76±4.87d
A200	3.91±2.46	-3.16±2.94bc	-4.26±4.15cd	-6.85±3.62bc	-8.00±3.70de	-9.12±3.45bc	-7.12±4.32c
A300	3.91±2.46	-4.07±3.43b	-8.25±3.24a	-9.22±3.97a	-11.62±4.17ab	-13.23±4.31a	-10.86±3.54a
A400	3.91±2.46	-6.57±3.82a	-8.57±3.38a	-9.03±3.77a	-12.97±3.28a	-12.73±3.73a	-11.43±3.57a
T100	3.91±2.46	-0.43±3.34d	-3.62±4.05cd	-3.92±3.44d	-3.27±2.84f	-4.43±3.55d	-4.36±4.11d
T200	3.91±2.46	-1.55±3.56cd	-3.75±3.09cd	-6.24±2.69c	-7.23±3.09e	-8.05±3.58c	-8.13±4.71bc
T300	3.91±2.46	-4.86±3.49ab	-5.42±4.49bc	-8.32±3.71ab	-10.03±3.27bc	-10.27±4.14b	-9.87±3.64ab
T400	3.91±2.46	-4.16±2.77b	-6.34±2.92b	-9.38±3.43a	-9.40±5.54cd	-10.63±3.66b	-9.73±4.87ab

注:小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.05$)。

投喂8周增色饲料后改投普通饲料,试验第10周时,除A100,A400组体表 b^* 值较第8周时高一些,其余各处理组阿里雌鱼体表 b^* 值均较第8周时低,阿里鱼体表蓝色呈现出更深的趋势;A300组体表 b^* 值为-13.23,与A400组体表 b^* 值(-12.73)差异无统计学意义($p > 0.05$),但显著低于其余各处理组($p < 0.05$);T300,T400和A200组体表 b^* 值差异无统计学意义($p > 0.05$),但显著低于A100,T100组及对照组($p < 0.05$);T200,A200组体表 b^* 值差异无统计学意义($p > 0.05$)。

第12周时,所有试验组体表 b^* 值均显著低于对照组($p < 0.05$)。A300,A400,T300,T400组体表 b^* 值差异无统计学意义($p > 0.05$),但显著低于A100,A200和T100组($p < 0.05$)。与第10周相比,第12周除A100,T200组及对照组体表 b^* 值低于第10周外,其余各组体表 b^* 值均比第10周时高。

3 讨论

3.1 饲料中添加雄烯二酮、睾酮对阿里雌鱼生长及成活率影响分析

适宜浓度的雄性激素能促进鱼类自身蛋白质的合成,提高鱼体内的生长激素水平,从而提高鱼类的生长速度。本研究中,A100,A200,A300,A400组和T300组的SGR均显著高于对照组($p < 0.05$),说明雄烯二酮和睾酮对阿里雌鱼均具有促生长作用。这与用甲基睾酮处理马拉瓜丽体鱼(*Cichlasoma managuense*)^[11]、鲤鱼(*Cyprinus carpio*)^[12]、金鱼^[12](*Carassius auratus*)、樱桃鲃^[15](*Barbus titteya*)雌鱼、吉富罗非鱼^[16](*Oreochromis niloticus*)能够促使其生长速度加快的结论一致,表明雄烯二酮和睾酮在促进鱼类生长上与甲基睾酮有相同的作用效果。本研究还发现,从两种增色剂的SGR来看,相同浓度组的雄烯二酮SGR比睾酮组高,这说明雄烯二酮比睾酮对阿里雌鱼促生长效果更好,这可能是由于雄烯二酮是睾酮的激素原,在生理代谢过程中可直接转换为睾酮,同时还产生一些雌激素和一些活性物质,对促进鱼体内生长因子的表达有促进作用。

从雄烯二酮、睾酮各组别的SGR来看,其数值在一定程度上均呈现出先增加后降低的趋势,这说明雄烯二酮和睾酮对阿里雌鱼促生长均具有剂量效应,高浓度组的雄烯二酮、睾酮有抑制阿里雌鱼生长的趋势,这与高浓度激素抑制黑鲈^[17](*Dicentrarchus labrax*)、大口黑鲈^[18](*Micropterus salmoides*)、尼罗非鲫^[19](*Oreochromis niloticus*)、半滑舌鳎^[20](*Cynoglossus semilaevis*)生长的研究结果相一致,但与雄性激素对庸鲈^[21](*Hippoglossus hippoglossus* L.)生长速度没有明显影响和雄性激素对黄姑鱼^[6]的生长有显著

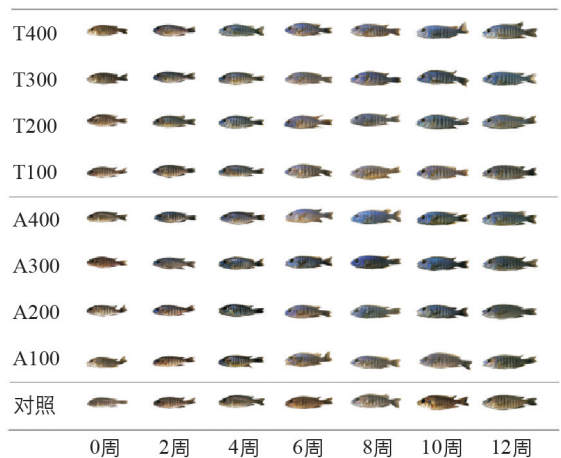


图1 饲料中添加雄烯二酮、睾酮对阿里雌鱼体色的影响

抑制作用的研究结果不同. 这可能是由于鱼的种类特异性不同所致, 也可能是因为鱼类不同生长阶段对雄性激素的耐受性和吸收转化利用能力不同有关. 雄性激素对鱼类生长性能的影响机制是多方面的. 一方面可能是因为雄性激素通过影响水产动物的摄食与消化系统, 从而影响其生长性状; 另一方面可能是因为鱼类摄食雄性激素后, 体内与生长相关的激素及其受体浓度发生了改变, 从而影响鱼类的生长速度. 当激素浓度在适宜范围内时对鱼类成活率无显著影响, 但当激素浓度超过某个阈值后, 会导致鱼类的成活率显著降低. 17α -MT 对白斑狗鱼^[22] (*Esox lucius*) 有显著致死效应; 用 $2\ \mu\text{g/L}$ 的辛基酚处理日本青鳉^[23] (*Oryzias latipes*) 时, 死亡率升高 $20\% \sim 30\%$. 本研究饲料中添加雄烯二酮或睾酮对阿里雌鱼的成活率没有影响, 这与用雄性激素处理马拉瓜丽体鱼^[12] 和樱桃鲃^[15] 的研究结论一致. 这说明雄烯二酮、睾酮各处理组浓度在阿里雌鱼的耐受范围内.

3.2 饲料中添加雄烯二酮、睾酮对阿里雌鱼体色调控的比较分析

在自然界中, 一般雄鱼较雌鱼艳丽, 因此也更具有观赏价值和经济价值. $10\ \text{mg/kg}$ 的甲基睾酮对 5 月龄的珍珠玛丽鱼^[24] (*Mollienesia velifera*) 的体色没有作用, 但能使 3 月龄的红剑尾鱼^[24] (*Xiphophorus helleri*) 体色增色, 这可能是由于 5 月龄的珍珠玛丽鱼性腺已较成熟或者投喂的甲基睾酮时间较短、剂量较小的缘故; $30\ \text{mg/kg}$ 以上的 17α -MT 处理 50 日龄的中华鲮^[10] (*Rhodeus sinensis*), 28 d 后体色明显开始起效; 应用 17α -MT 处理红剑尾鱼^[9,24] (*Xiphophorus helleri*)、玛丽鱼^[25] (*Mollienesia Latipinna Le Sueur*) 以及红斑马鱼^[26] (*Brachydanio rerio*) 时, 其体色明显更加艳丽. 本研究发现, 饲料中添加适量的雄烯二酮或睾酮, 可使阿里雌鱼体色逐渐呈现雄鱼的金属蓝体色, 且雄烯二酮比睾酮增色效果更好. 投喂增色饲料 8 周时, A300 组与 A400 组和 T300 组的色差值 ($\Delta E^* ab$) 和黄蓝度值 (b^*) 差异无统计学意义 ($p > 0.05$), 但显著低于其余各组 ($p < 0.05$). 综合养殖成本和增色效果等因素, 认为阿里雌鱼最佳增色剂为雄烯二酮, 其适宜添加量为 $300\ \text{mg/kg}$.

本研究发现, 当停用增色饲料后的一段时间内, 鱼体的颜色呈现逐渐加深的趋势, 这可能是由于鱼类吸收的雄烯二酮或睾酮在体内逐渐富集, 后期通过代谢得以全部释放, 所以在改投普通饲料后前一段时间里, 阿里鱼呈现出更深的金属蓝体色, 而到后期金属蓝体色有逐渐变浅的趋势, 表明外源雄烯二酮、睾酮对阿里雌鱼具有适应性反应, 为了使阿里鱼呈现稳定的金属蓝体色, 在实际养殖过程中需要定期投喂增色饲料. 在本研究中, A300, A400 组阿里鱼改投普通饲料后 4 周中仍然呈现出较深的金属蓝体色, 这可能是由于阿里雌鱼经过 8 周增色后已雄性化, 也可能尚未完全雄性化但体内吸收的增色剂还没有代谢完全的原因, 具体机理还需进一步研究确定.

观赏鱼的观赏价值除体型以外, 体色是最重要的因素. 影响鱼体色变化的原因是多方面的, 内在的原因主要受有物种的特性和基因的影响, 如麦穗鱼^[27] (*Pseudorasbora parva*) 在生殖期体色较平时呈现更加鲜艳的色彩; 外在的原因主要受养殖水环境和摄食的饲料组成的影响, 如斑鳊^[27] (*Siniperca scherzeri*) 可以根据光照强度的变化而变化, 饲料中添加虾青素、微藻等物质^[14,28-29] 可以有效增加人工养殖鱼类的体色. 微藻对环境雄激素也有显著的富集和降解作用^[30], 在饲料中适量添加雄激素或含有雄激素的微藻等介质, 可以促使雌鱼呈现出雄鱼一样鲜艳的颜色. 因此, 研究如何有效在饲料中添加扬色成分, 改善人工养殖条件下观赏鱼的外观色彩, 是观赏鱼研究和养殖从业者努力的方向^[15].

3.3 阿里增色鱼与真雄鱼颜色差异的比较分析

从本研究可以看出, 饲料中添加雄烯二酮、睾酮投喂阿里雌鱼后, 其体色能够呈现出金属蓝色, 观赏价值和经济价值得到了提升, 但与阿里真雄鱼相比, 用雄烯二酮或睾酮增色后的阿里雌鱼其色差值 ($\Delta E^* ab$) 和黄蓝度值 (b^*) 还有一定的差距. 这可能与鱼的种类吸收利用雄烯二酮、睾酮的特异性有关, 也可能与养殖的具体光照和温度差异有关, 具体原因还有待进一步研究.

4 结论

饲料中添加雄烯二酮、睾酮均可促使阿里雌鱼生长速度加快, 并使其呈现雄鱼的金属蓝体色, 雄烯二酮较睾酮促生长、增色效果好; 饲料中雄烯二酮的适宜添加量为 $300\ \text{mg/kg}$, 增色 8 周后的阿里鱼体色能够稳定 4 周.

参考文献:

- [1] CAN E K, KIZAK V, SEYHANEYILDIZ CAN Ş, et al. Anesthetic Potential of Geranium (*Pelargonium graveolens*) Oil for Two Cichlid Species, *Sciaenochromis fryeri* and *Labidochromis caeruleus* [J]. *Aquaculture*, 2018, 491: 59-64.
- [2] MORADIAN A M, DORAFSHAN S, PAYKAN HEYRATI F, et al. Effects of Dietary Bovine Lactoferrin on Growth, Haemato-Biochemical Parameters, Immune Functions and Tolerance to Air Exposure Stress in the African Cichlid *Sciaenochromis fryeri* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2018, 24(1): 392-399.
- [3] GULLU K, GUROY D, CELIK I, et al. Optimal Dietary Protein Levels in Juvenile Electric Blue Cichlid (*Sciaenochromis fryeri*) [J]. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 2008, 60(4): 261-267.
- [4] 城市渔夫, 快枪手, KONINGS A D. 马拉维湖慈鲷点将录(3) 阿里 [J]. *水族世界*, 2005(3): 60-63.
- [5] 林家豪, 陈睿毅, 楼宝, 等. 17 α -甲基睾酮对黄姑鱼幼鱼生长及性分化的影响 [J]. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2015, 34(1): 20-25.
- [6] 刘少贞, 吕文琪, 吕小也. 17 α -甲基睾酮对斑马鱼肝脏 *vtg* 基因 mRNA 表达的影响 [J]. *畜牧与饲料科学*, 2016, 37(5): 9-11.
- [7] 姚汶励, 姜鹏, 白俊杰. 17 α -甲基睾酮对草鱼性腺发育及性类固醇激素水平的影响 [J]. *水产学报*, 2019, 43(4): 801-807.
- [8] 韩建, 许言, 余逸敏, 等. 17 α -甲基睾酮对剑尾鱼的影响 [J]. *中国实验动物学报*, 2010, 18(6): 484-488, 441.
- [9] 周兴华, 向泉, 王进文. 甲基睾酮对珍珠玛丽鱼及红剑尾鱼性逆转及体色影响的初步研究 [J]. *水产科技情报*, 2000, 27(3): 99-101, 137.
- [10] 陈小江, 王建国, 王权. 甲基睾酮对中华鲮体色的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(22): 192-194.
- [11] 黄海, 张希, 杨宁. 应用甲基睾酮诱导马拉瓜丽体鱼雄性化的研究 [J]. *热带农业科学*, 2012, 32(9): 68-71.
- [12] LONE K P, MATTY A J. The Effect of Feeding Methyltestosterone on the Growth and Body Composition of Common Carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 1980, 40(4): 409-424.
- [13] EL-GREISY Z A, EL-GAMAL A E. Monosex Production of Tilapia, *Oreochromis niloticus* Using Different Doses of 17 α -Methyltestosterone with Respect to the Degree of Sex Stability after one Year of Treatment [J]. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 2012, 38(1): 59-66.
- [14] 姜巨峰, 张殿昌, 邱丽华, 等. 用 IGF- I mRNA 表达量评价鲮饲料配方效果的研究 [J]. *南方水产*, 2010, 6(2): 66-72.
- [15] 喻翔. 虾青素与甲基睾酮对樱桃鲃生长与体色的影响 [D]. 西安: 西北大学, 2012.
- [16] 谭芸, 朱佳杰, 周宇, 等. 温度诱导及药物处理对吉富罗非鱼雄性率及生长发育的影响 [J]. *大连海洋大学学报*, 2015, 30(3): 253-256.
- [17] BLÁZQUEZ M, ZANUY S, CARRILLO M, et al. Structural and Functional Effects of Early Exposure to Estradiol-17 β and 17 α -Ethinylestradiol on the Gonads of the Gonochoristic Teleost *Dicentrarchus Labrax* [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1998, 18(1): 37-47.
- [18] 周家辉, 杜金星, 姜鹏, 等. 17 α -甲基睾酮对大口黑鲈生长及性腺发育的影响 [J]. *中国水产科学*, 2021, 28(9): 1109-1117.
- [19] 李家乐, 李思发, 韩风进. 甲基睾酮诱导吉富品系尼罗非鲫雄性化的研究 [J]. *水产学报*, 1997, 21(S1): 107-110.
- [20] 王佳林, 杨英明, 杨倩, 等. 性类固醇激素雌二醇、睾酮对半滑舌鲷雌、雄、伪雄鱼生长性能的影响 [J]. *南方水产科学*, 2021, 17(4): 27-34.
- [21] HENDRY C I, MARTIN-ROBICHAUD D J, BENFEY T J. Hormonal Sex Reversal of Atlantic Halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) [J]. *Aquaculture*, 2003, 219(1-4): 769-781.
- [22] 李飞, 胡琼, 张俊杰. 17 α -甲基睾酮诱导白斑狗鱼性逆转初步研究 [J]. *淡水渔业*, 2018, 48(1): 3-8.
- [23] KNÖRR S, BRAUNBECK T. Decline in Reproductive Success, Sex Reversal, and Developmental Alterations in Japanese Medaka (*Oryzias Latipes*) after Continuous Exposure to Octylphenol [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2002, 51(3): 187-196.
- [24] 李云, 李英文, 向泉, 等. 类胡萝卜素甲基睾酮对观赏鱼体色的影响 [J]. *西南农业大学学报*, 1999, 21(3): 270-273.
- [25] 郑曙明, 陈章宝. 甲基睾酮对孔雀鱼、玛丽鱼性逆转的研究 [J]. *四川畜牧兽医学院学报*, 1998, 12(2): 4-8.
- [26] 黄永政. 17 α -甲基睾酮与类胡萝卜素对观赏鱼体色影响的研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [27] 黄鸿兵, 尹思慧, 李潇轩, 等. 鱼虾体色及呈现机制研究进展 [J]. *天津农业科学*, 2021, 27(7): 38-41, 47.
- [28] 王军辉, 熊建利, 张东洋, 等. 饲料中添加虾青素对锦鲤生长、体色、抗氧化能力和免疫力的影响 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31(9): 4144-4151.
- [29] 全峰, 王春雨, 孙阳, 等. 饲料中添加复合微藻对半滑舌鲷生长、体色及消化酶的影响 [J]. *饲料研究*, 2021, 44(10): 45-49.
- [30] 邓必祥. 淡水微藻对环境雄激素的生物富集与降解作用研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2019.