

文章编号: 1674-5566(2021)01-0039-08

DOI:10.12024/jso.20190302571

## 七彩神仙鱼繁殖间期与繁殖期体表黏液的部分组分分析

周建桥<sup>1,2,3</sup>, 欧阳明艳<sup>1,2,3</sup>, 温彬<sup>1,2,3</sup>, 陈再忠<sup>1,2,3</sup>, 高建忠<sup>1,2,3</sup>

(1. 上海海洋大学 农业农村部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306)

**摘要:** 为了探究七彩神仙鱼体表黏液在繁殖周期中组分的变化规律, 测定七彩神仙鱼体表黏液中皮质醇、免疫球蛋白 M、总蛋白、乳酸和葡萄糖的含量变化。结果表明, 七彩神仙鱼体表黏液中皮质醇、免疫球蛋白 M、总蛋白、乳酸和葡萄糖的含量均受亲鱼性别和繁殖时期显著影响, 且繁殖时期与性别之间存在显著交互作用。在幼鱼平游期, 5 种组分含量在雌雄亲鱼之间存在显著差异。七彩神仙鱼开始“喂奶”后其体表黏液成分发生显著变化, 尤其是雄鱼会分泌更多的营养与免疫组分来满足幼鱼需求。

**关键词:** 七彩神仙鱼; 体表黏液; 繁殖期; 繁殖间期

**中图分类号:** S 917; S 965.8 **文献标志码:** A

七彩神仙鱼 (*Symphysodon haraldi*) 原产于南美亚马逊河流域, 因其独特外形和艳丽色彩, 有着热带观赏鱼之王的美称<sup>[1]</sup>。七彩神仙鱼具有独特的抚育行为, 即仔鱼在孵化后会以亲鱼体表分泌的黏液为食, 俗称“喂奶”。亲鱼“乳汁”分泌质量会直接影响仔鱼的生长与成活。因此, 查明七彩神仙鱼繁殖期体表黏液组分变化, 提升“乳汁”分泌品质, 对七彩神仙鱼健康苗种繁育具有重要意义。目前, 国内外有关七彩神仙鱼抚育行为的研究已有较多报道<sup>[2-4]</sup>, 但对于七彩神仙鱼体表黏液组成尤其是抚育期“乳汁”成分变化的研究较少。

本研究将调查七彩神仙鱼雌、雄亲鱼繁殖周

期内体表黏液中皮质醇、免疫球蛋白 M、总蛋白、乳酸和葡萄糖的变化规律, 并通过变化情况来评估其“喂奶”能力。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验亲鱼

选取规格统一且来自同一窝的 10 对七彩神仙鱼亲鱼, 由上海海洋大学观赏水族实验室提供。将七彩神仙鱼一个完整繁殖周期分为 6 个阶段, 包括繁殖间期、产卵期、孵化期、平游期、平游 1 周、平游 2 周。其中产卵期、孵化期、平游期、平游 1 周、平游 2 周可统称为繁殖期(表 1)。

表 1 七彩神仙鱼繁殖周期阶段划分  
Tab.1 The division of discus fish breeding period

阶段 Period	阶段划分 1 Period division 1	阶段划分 2 Period division 2
繁殖间期 Interval-breeding	亲鱼在仔鱼下身后至下一次亲鱼开始产卵	繁殖间期
产卵期 Eggs-spawned	亲鱼开始产卵至鱼卵孵化第 1 条仔鱼出膜	
孵化期 Eggs-hatched	第 1 条仔鱼出膜孵化至第 1 条仔鱼可以平游	
平游期 Free-swimming	第 1 条仔鱼平游至所有仔鱼可以在亲鱼身边啃食黏液	繁殖期
平游 1 周 Free-swimming 1 week	指所有仔鱼平游之后的第 7 天的 24 h 内	
平游 2 周 Free-swimming 2 weeks	指所有仔鱼平游之后的第 14 天的 24 h 内	

收稿日期: 2019-03-28 修回日期: 2019-10-29

基金项目: 上海市青年科技英才扬帆计划(19YF1419400); 上海市农委科技兴农重点攻关项目(沪农科 2015-19)

作者简介: 周建桥(1992—), 男, 硕士研究生, 研究方向为观赏鱼的繁殖与育种。E-mail:1259823340@qq.com

通信作者: 陈再忠, E-mail:chenzz@shou.edu.cn

## 1.2 样品采集与检测

从亲鱼处于繁殖间期开始便对其进行黏液采集,直至6个繁殖阶段全部完成。采集时用灭菌的镊子夹取已称重的脱脂棉在鱼体表面进行擦拭,吸附黏液后将其放入已称重的1.5 mL离心管,保存于-80 °C冰箱中,用于皮质醇、免疫球蛋白M、总蛋白、乳酸与葡萄糖的含量测定。检测方法按照皮质醇酶联免疫试剂盒、免疫球蛋白M酶联免疫试剂盒、BCA法蛋白定量测定试剂盒、乳酸试剂盒和葡萄糖测定试剂盒(中国,南京建成)的操作说明进行。

## 1.3 数据处理与分析

采用Kolmogorov-Smirnov检验和Levene检验

对原始数据进行正态分布和方差齐性分析。对5种指标进行雌雄性别与繁殖时期的双因子方差分析(SPSS 20.0)。数据结果均以平均值±标准差表示。

## 2 结果

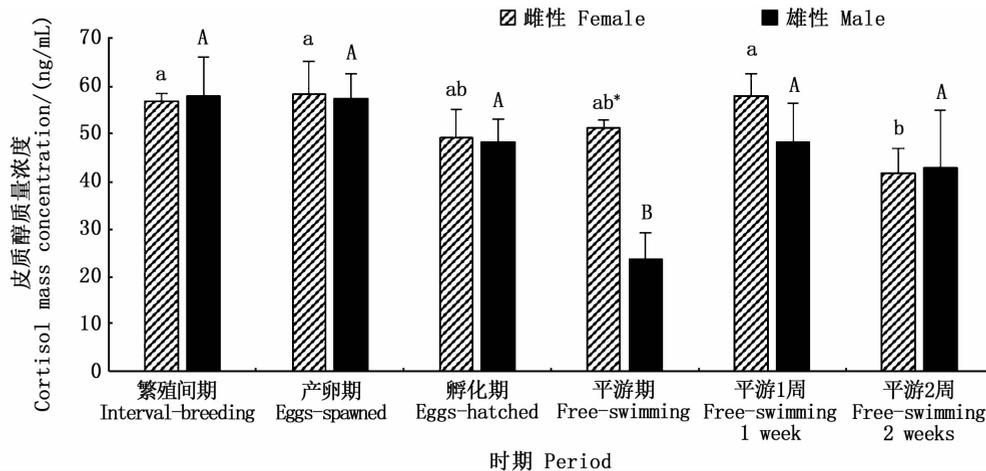
### 2.1 体表黏液皮质醇含量变化

七彩神仙鱼繁殖周期内皮质醇含量受繁殖时期与性别的影响显著(表2)。在平游期,雌鱼体表黏液皮质醇含量显著高于雄鱼,而在其他时期,雌雄间的差异不显著。雌雄鱼体表黏液中皮质醇的含量均表现出先降后升再下降的趋势(图1)。

表2 繁殖时期与性别对七彩神仙鱼体表黏液成分的影响双因子方差分析

Tab.2 Two-way ANOVA results on effects of sampling period and gender on the discus fish component of the epidermal mucus

因子 Factor	皮质醇 Cortisol	免疫球蛋白M IgM	总蛋白 Total protein	乳酸 Lactic	葡萄糖 Glucose
性别 Gender	0.028	0.004	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
时期 Period	0.001	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
性别×时期 Gender×Period	0.030	0.002	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$



图中数据表示为平均值±标准差( $n=3$ )。\*表示同一时期内雌、雄性存在显著差异( $P < 0.05$ ),不同大小写字母分别表示雄、雌性在不同时期存在显著差异( $P < 0.05$ )。

Data were presented as Mean ± SD ( $n=3$ ). The \* indicates there is a significant difference between the male and female in a same period. Columns in the same gender with different letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ), the uppercase letter denotes male, the lowercase letter denotes female.

图1 七彩神仙鱼繁殖周期内体表黏液皮质醇质量浓度的变化

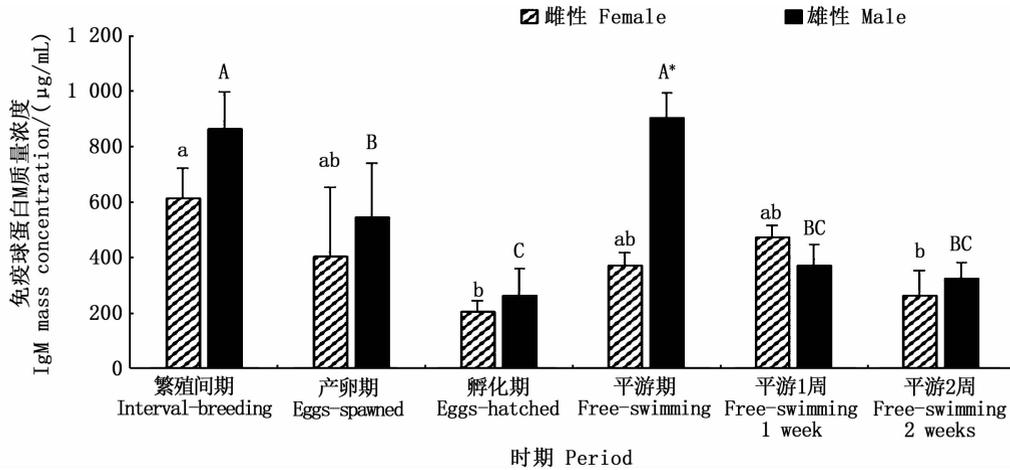
Fig.1 Cortisol mass concentration in epidermal mucus of discus fish during breeding periods

### 2.2 体表黏液免疫球蛋白 M 含量变化

七彩神仙鱼繁殖周期内体表黏液免疫球蛋白 M 受繁殖时期与性别的影响显著(表 2)。在平游期,雄鱼体表黏液免疫球蛋白 M 质量浓度显著高于雌鱼,而在其他时期,雌雄间的差异不显著。雌雄鱼体表黏液中免疫球蛋白 M 的质量浓度均表现出下降、上升、再下降的趋势(图 2)。

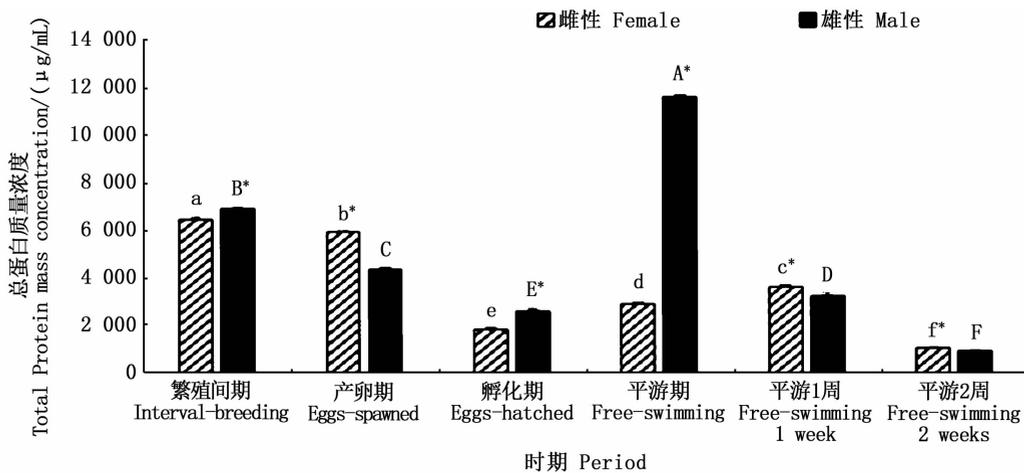
### 2.3 体表黏液总蛋白含量变化

七彩神仙鱼繁殖周期内体表黏液总蛋白质量浓度受繁殖时期与性别的显著影响(表 2)。在繁殖期间、孵化期、平游期雄鱼体表黏液总蛋白质量浓度显著高于雌鱼,而在其他时期,雌性显著高于雄性。雌雄鱼体表黏液中总蛋白的含量均表现出下降、上升、再下降的趋势(图 3)。



图中数据表示为平均值 ± 标准差 (n=3)。\* 表示同一时期内雌、雄性存在显著差异 (P<0.05), 不同大小写字母分别表示雄、雌性在不同时期存在显著差异 (P<0.05)。Data were presented as Mean ± SD (n=3). The \* indicates there is a significant difference between the male and female in a same period. Columns in the same gender with different letter superscripts mean significant difference (P<0.05), the uppercase letter denotes male, the lowercase letter denotes female.

图 2 七彩神仙鱼繁殖周期内体表黏液免疫球蛋白 M 质量浓度的变化  
Fig. 2 IgM concentration in epidermal mucus of discus fish during breeding periods



图中数据表示为平均值 ± 标准差 (n=3)。\* 表示同一时期内雌、雄性存在显著差异 (P<0.05), 不同大小写字母分别表示雄、雌性在不同时期存在显著差异 (P<0.05)。Data were presented as Mean ± SD (n=3). The \* indicates there is a significant difference between the male and female in a same period. Columns in the same gender with different letter superscripts mean significant difference (P<0.05), the uppercase letter denotes male, the lowercase letter denotes female.

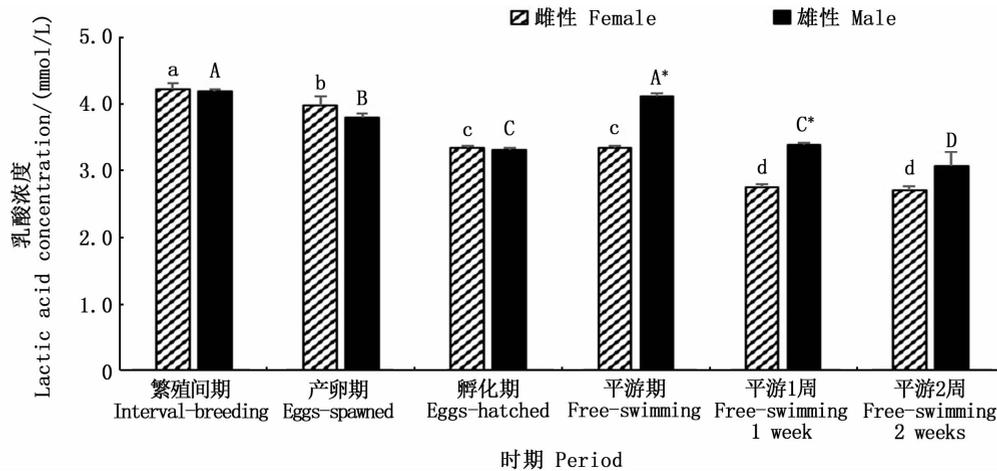
图 3 七彩神仙鱼繁殖周期内体表黏液总蛋白质量浓度的变化  
Fig. 3 Total protein mass concentration in epidermal mucus of discus fish during breeding periods

## 2.4 体表黏液乳酸含量变化

七彩神仙鱼繁殖周期内体表黏液乳酸浓度受繁殖期与性别的影响显著(表2)。在平游期与平游1周,雄鱼体表黏液乳酸浓度显著高于雌鱼,而在其他时期,雌雄差异不显著。雌鱼体表黏液中乳酸的浓度表现为逐渐下降的趋势。雄鱼体表黏液中乳酸的浓度表现为下降、上升、再下降的趋势(图4)。

## 2.5 体表黏液葡萄糖含量变化

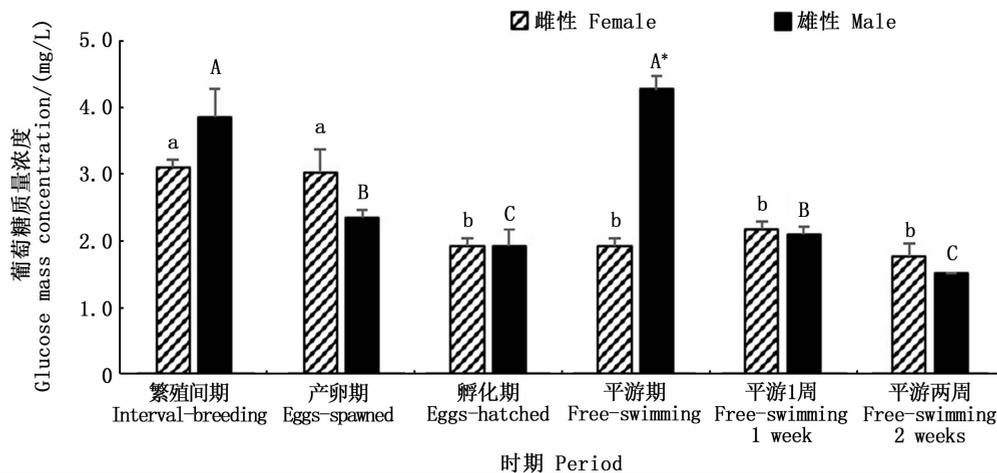
七彩神仙鱼繁殖周期内体表黏液葡萄糖质量浓度受繁殖时期与性别的影响显著(表2)。在平游期雄鱼体表黏液葡萄糖质量浓度显著高于雌鱼,而在其他时期,雌雄差异不显著。雌雄鱼体表黏液中葡萄糖的质量浓度均表现出下降、上升、再下降的趋势(图5)。



图中数据表示为平均值  $\pm$  标准差 ( $n=3$ )。\* 表示同一时期内雌、雄性存在显著差异 ( $P<0.05$ ), 不同大小写字母分别表示雄、雌性在不同时期存在显著差异 ( $P<0.05$ )。Data were presented as Mean  $\pm$  SD ( $n=3$ ). The \* indicates there is a significant difference between the male and female in a same period. Columns in the same gender with different letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ), the uppercase letter denotes male, the lowercase letter denotes female.

图4 七彩神仙鱼繁殖周期内体表黏液乳酸浓度的变化

Fig. 4 Lactic acid concentration in epidermal mucus of discus fish during breeding periods



图中数据表示为平均值  $\pm$  标准差 ( $n=3$ )。\* 表示同一时期内雌、雄性存在显著差异 ( $P<0.05$ ), 不同大小写字母分别表示雄、雌性在不同时期存在显著差异 ( $P<0.05$ )。Data were presented as Mean  $\pm$  SD ( $n=3$ ). The \* indicates there is a significant difference between the male and female in a same period. Columns in the same gender with different letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ), the uppercase letter denotes male, the lowercase letter denotes female.

图5 七彩神仙鱼繁殖周期内体表黏液葡萄糖质量浓度的变化

Fig. 5 Glucose mass concentration in epidermal mucus of discus fish during breeding periods

### 3 讨论

#### 3.1 七彩神仙鱼繁殖周期内皮质醇变化

皮质醇属于糖皮质类激素,参与调节鱼类体内多种生理生化反应,如物质代谢、渗透压、免疫功能、性腺成熟等<sup>[5-6]</sup>。大多数鱼类在受到外源性刺激后,血浆中的皮质醇会在 0.5 至 1.0 h 后达到峰值<sup>[7]</sup>。有研究已经阐述了部分鱼类体表黏液中皮质醇的分泌机制,如海鲈鱼(*Dicentrarchus labrax*)<sup>[8]</sup>、鲤(*Cyprinus carpio*)<sup>[9]</sup>、虹鳟等<sup>[10]</sup>。不同鱼类体表黏液中的皮质醇水平存在明显的种间差异,七彩神仙鱼体表黏液中皮质醇质量浓度为 20~60 ng/mL,这一结果与方尾白鲈鱼(*Argyrosomus regius*)体表黏液的测量值相近<sup>[7]</sup>。本实验中的皮质醇除平游期外,其他繁殖阶段的含量都相近。这说明七彩神仙鱼在整个繁殖周期中,除平游期外,雌雄鱼的应激情况相接近。雄鱼在平游期出现了皮质醇明显降低的情况,但雄鱼免疫球蛋白 M、总蛋白、葡萄糖和乳酸在这一时期反而出现了一个明显升高的情况。可以推测皮质醇含量的升高可能对上述 4 种物质的分泌有抑制作用。在平游 2 周时雌雄皮质醇都出现了下降。这与在养殖过程中所观察到的仔鱼在上身 14 d 左右离开亲鱼开始独立觅食的时间相吻合。当仔鱼开始独立觅食,仔鱼对亲鱼体表的啄食频率也逐渐变少,对亲鱼的刺激减弱,这与文献[2]中所描述的情况类似。

#### 3.2 七彩神仙鱼繁殖周期内免疫球蛋白 M 变化

鱼类的免疫分为非特异性免疫和特异性免疫,而无颌类鱼类体内只有非特异性免疫的存在,有颌类则两者兼具<sup>[11-12]</sup>。鱼类的特异性免疫通过免疫球蛋白(immunoglobulin, Ig)与 T 淋巴细胞(T-lymphocyte)来完成<sup>[13]</sup>。其中免疫球蛋白是在鱼类特异性免疫中发挥作用的主要物质。虽然相关研究中已经报道过硬骨鱼类拥有 4 种免疫球蛋白,IgM、IgD、IgZ 与 IgT,但只有 IgM 在硬骨鱼类的特异性免疫过程中发挥作用<sup>[11-13]</sup>。国内外对皮肤黏液中的 IgM 已经有了相当多的研究,如南亚野鲮(*Labeo rohita*)、印度鲤(*Catla catla*)<sup>[14]</sup>、鲮(*Siniperca chuatsi*)<sup>[15]</sup>、鲤<sup>[16]</sup>等。在哺乳动物哺乳时雌性会通过乳汁为幼崽提供免疫物质,其中包括免疫球蛋白 M,这样能在哺乳动物幼崽还没有建立成熟的免疫系统时为其提

供保护<sup>[17]</sup>。由此推测七彩神仙鱼亲鱼体表黏液中的免疫球蛋白 M 也有类似的作用。虽然我们还不了解七彩神仙仔鱼多久可以建立起自身成熟的免疫系统,但根据平游 2 周亲鱼体表黏液中免疫球蛋白 M 都有一个明显的下降来推测,平游 2 周时可能仔鱼已经建立起了比较完整的免疫系统。斑马鱼仔鱼要 4~6 周来建立自己的免疫系统<sup>[18]</sup>。七彩神仙鱼的免疫球蛋白 M 由亲鱼直接提供,其周期可能更短。更高的免疫球蛋白 M 可能是亲鱼为了应对仔鱼啄食所带来的表皮损伤<sup>[2]</sup>。由于免疫球蛋白 M 是蛋白质的一种,因此免疫球蛋白 M 的多寡与总蛋白的多寡有很大的相关性。在本实验中,免疫球蛋白 M 呈现下降-上升-下降的规律。其中繁殖间期到孵化期这一阶段免疫球蛋白 M 出现下降,经观察与七彩神仙在这一时期体色明显变深的现象相吻合,这可能是七彩神仙鱼体内相关激素含量变化所导致的。除平游期外雌雄差异不显著,平游 2 周后雌鱼的免疫球蛋白 M 含量显著下降,这与亲鱼在两周左右结束“喂奶”的现象相吻合。

#### 3.3 七彩神仙鱼繁殖周期内总蛋白变化

鱼类体表黏液主要成分为水,含水量 90% 以上<sup>[19]</sup>。而经过烘干后蛋白质占干质量的比例在 50% 以上,这些蛋白质主要包括免疫球蛋白、抗体、溶菌酶、凝集素、补体以及一些肽类<sup>[12]</sup>。这些蛋白质是鱼类抵御外界病原侵害的第一道防线,是鱼类免疫系统的重要组成部分。另外体表黏液中还存在一些蛋白酶,例如组织蛋白酶、超氧化物歧化酶和胰蛋白酶等<sup>[13]</sup>。鱼类受到外界刺激后,体表黏液会大量增多,而蛋白质作为黏液中除水以外的主要成分,其含量也会随之改变,因此有研究将体表黏液中总蛋白含量作为鱼体应激状况的评价指标<sup>[7]</sup>。大多数对鱼类体表黏液的研究中,只研究其中的免疫球蛋白或进行蛋白组学的检测<sup>[4, 20]</sup>。有文献<sup>[21]</sup>表明,感染会导致体表黏液中总蛋白含量的降低。本实验中总蛋白的含量都呈现下降-上升-下降的规律。平游期雄性的含量过高可能是个体间差异所造成,繁殖间期到孵化期这一阶段下降这一现象,经观察与七彩神仙鱼在这一时期内体色明显变深的现象相吻合。而在平游 2 周雌雄都有显著的下降,这与亲鱼在两周左右结束“喂奶”相吻合。雌雄鱼在整个繁殖周期中总蛋白含量交替升高。由此

分析,以体表黏液中总蛋白的含量来衡量,除平游期外,七彩神仙雌雄之间“喂奶”能力差异不显著。

### 3.4 七彩神仙鱼繁殖周期内乳酸变化

当鱼类的有氧呼吸不能完全供给鱼体能量时,无氧呼吸就会启动,而葡萄糖经过无氧呼吸的代谢产物就是乳酸<sup>[22]</sup>。因此乳酸升高则证明鱼类身体负担加重,乳酸含量越高,则无氧呼吸强度越大,因此乳酸含量的增加可以从一个方面反映出鱼体的应激程度与疲劳程度<sup>[23]</sup>。有文献<sup>[22, 24]</sup>表明,当鱼类受到可以增加鱼体运动强度或者减少鱼体氧气利用率的胁迫时,鱼体血浆中的葡萄糖与乳酸会同步上升。方尾白鲈鱼在受到胁迫后,血浆中乳酸的浓度峰值出现在胁迫1 h后,6 h后血浆中的乳酸浓度恢复到受胁迫之前的浓度<sup>[4]</sup>。体表黏液中的乳酸浓度相对血浆会有时间上的滞后。七彩神仙鱼除雄性平游期外呈整体下降趋势。这说明其身体负担与应激程度在整个繁殖周期中在逐渐下降。前3个时期雌雄差异不显著,七彩神仙鱼雄性在平游期后显著高于雌性。由此推测以乳酸为衡量标准在开始“喂奶”后,七彩神仙鱼雄性“喂奶”能力强于雌性。

### 3.5 七彩神仙鱼繁殖周期内体表黏液葡萄糖变化

鱼类在能量代谢过程中主要通过细胞内的呼吸作用来进行供能,而葡萄糖就是最主要的呼吸作用的供能物质,因此恒定的血糖浓度对维持鱼类正常生命活动有重要的作用<sup>[25-27]</sup>。但是与哺乳动物相比,鱼类对于食物中高含量的糖类具有不耐受的特点,具体表现为当鱼类摄入糖类后,血糖水平会大幅升高,并且持续较长时间。一般来说草食性鱼类对糖的耐受能力大于杂食性鱼类,杂食性鱼类大于肉食性鱼类<sup>[28]</sup>。但鱼类对于低血糖的耐受能力较高<sup>[25-26]</sup>。与哺乳动物类似,鱼类也是通过胰岛素和胰高血糖素这一对拮抗激素对血糖进行调节。有研究表明当鱼类饲料中糖类含量过高时会影响鱼类的生长。体表黏液中葡萄糖的浓度可以作为鱼体应激程度的评价标准<sup>[25]</sup>。当环境出现变化时,鱼类会通过糖原异生和肝糖元分解两个通路来提高身体内葡萄糖的含量,从而为身体提供额外的能量<sup>[27]</sup>。当鱼类处于压力状态时,鱼类血糖会升高,而血

糖升高的程度与持续时间和鱼类种类有着很大的相关性<sup>[29-30]</sup>。体表黏液中的葡萄糖也与鱼类的血糖表现出相关性<sup>[4]</sup>。在本实验中葡萄糖与乳酸的变化趋势相类似,除雄性平游期外呈整体下降趋势,这与文献中所描述的乳酸与葡萄糖同步变化的现象相符合。除平游期外雌雄差异不显著。由此推测,以葡萄糖为衡量标准,七彩神仙鱼鱼体负担与应激程度逐渐降低,在开始“喂奶”后,除平游期外七彩神仙鱼雌雄鱼“喂奶”能力差异不大。

综上,进入繁殖期后七彩神仙鱼体表黏液中各成分含量变化显著。七彩神仙鱼雄鱼在平游期的“喂奶”能力显著优于雌鱼,但在平游1周与平游2周时雌雄鱼“喂奶”能力相差不显著。

### 参考文献:

- [1] 刘晓东,陈再忠. 七彩神仙鱼皮肤色素细胞观察及类胡萝卜素组分分析[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(3): 339-343.  
LIU X D, CHEN Z Z. Study on the chromatophores and the carotenoid components in the skin of discus fish (*Symphysodon* spp.) [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(3): 339-343.
- [2] BUCKLEY J, MAUNDER R J, FOEY A, et al. Biparental mucus feeding: a unique example of parental care in an Amazonian cichlid [J]. Journal of Experimental Biology, 2010, 213(22): 3787-3795.
- [3] CHEN Z Q, CORLETT R T, JIAO X G, et al. Prolonged milk provisioning in a jumping spider [J]. Science, 2018, 362(6418): 1052-1055.
- [4] FERNÁNDEZ-ALACID L, SANAHUJA I, ORDÓÑEZ-GRANDE B, et al. Skin mucus metabolites and cortisol in meagre fed acute stress-attenuating diets: correlations between plasma and mucus [J]. Aquaculture, 2019, 499: 185-194.
- [5] 陈勇. 鱼类营养与甲状腺激素、皮质醇之间关系研究综述 [J]. 安徽农学通报, 2007, 13(22): 20-21.  
CHEN Y. A review on study of relationship between the fish nutrition and thyroid hormones and cortisol [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2007, 13(22): 20-21.
- [6] 贾倩倩,吕为群. 低盐胁迫对褐牙鲆成鱼血浆渗透压、皮质醇、生长激素和催乳素的影响 [J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(1): 71-77.  
JIA Q Q, LYU W Q. Effects of low salinity stress on plasma osmolality, cortisol, prolactin and growth hormone of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2016, 25(1): 71-77.
- [7] FERNÁNDEZ-ALACID L, SANAHUJA I, ORDÓÑEZ-GRANDE B, et al. Skin mucus metabolites in response to physiological

- challenges: A valuable non-invasive method to study teleost marine species[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 644: 1323-1335.
- [8] SAMARAS A, PAPANROULAKIS N, COSTARI M, et al. Stress and metabolic indicators in a relatively high (European sea bass, *Dicentrarchus labrax*) and a low (meagre, *Argyrosomus regius*) cortisol responsive species, in different water temperatures[J]. *Aquaculture Research*, 2016, 47(11): 3501-3515.
- [9] 贺诗水, 王洪凯, 李晓飞. MS-222 对锦鲤的麻醉效果研究[J]. *湖北农业科学*, 2013, 52(3): 626-628.
- HE S S, WANG H K, LI X F. Anaesthetic effects of MS-222 on *Cyprinus carpio* [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2013, 52(3): 626-628.
- [10] NOMURA M, SLOMAN K A, VON KEYSERLINGK M A G, et al. Physiology and behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts during commercial land and sea transport[J]. *Physiology & Behavior*, 2009, 96(2): 233-243.
- [11] 宿斌, 王荻, 刘红柏. 硬骨鱼类免疫球蛋白分类及多样性产生机制研究进展[J]. *水产学杂志*, 2013, 26(1): 60-64.
- SU B, WANG D, LIU H B. Research advances in immunoglobulin classification and diversity mechanism in fish [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2013, 26(1): 60-64.
- [12] 张婷, 史晋绒, 宋柯, 等. 鱼类体表粘液分泌机制·组分与功能研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(22): 7445-7448, 7458.
- ZHANG T, SHI J R, SONG K, et al. Research progress of secretion mechanisms, components and function of fishes mucus[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(22): 7445-7448, 7458.
- [13] 张媛媛, 宋理平. 鱼类免疫系统的研究进展[J]. *河北渔业*, 2018(2): 49-56.
- ZHANG Y Y, SONG L P. The research progress of fish immune system[J]. *Hebei Fisheries*, 2018(2): 49-56.
- [14] BAG M R, MAKESH M, RAJENDRAN K V, et al. Characterization of IgM of Indian major carps and their cross-reactivity with anti-fish IgM antibodies[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2009, 26(2): 275-278.
- [15] TIAN J Y, XIE H X, ZHANG Y A, et al. Ontogeny of IgM-producing cells in the mandarin fish *Siniperca chuatsi* identified by *in situ* hybridisation[J]. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 2009, 132(2/4): 146-152.
- [16] 杨桂文, 安利国, 王长法, 等. 鲤鱼皮肤粘液与血清中免疫球蛋白的比较研究[J]. *动物学研究*, 1998, 19(6): 489-492.
- YANG G W, AN L G, WANG C F, et al. Comparative studies on the immunoglobulin in skin mucus and serum of carp[J]. *Zoological Research*, 1998, 19(6): 489-492.
- [17] TRIVERS R L. Parent-offspring conflict[J]. *American Zoologist*, 1974, 14(1): 249-264.
- [18] LAM S H, CHUA H L, GONG Z, et al. Development and maturation of the immune system in zebrafish, *Danio rerio*: a gene expression profiling, *in situ* hybridization and immunological study [J]. *Developmental & Comparative Immunology*, 2004, 28(1): 9-28.
- [19] 韩庆, 李丽立, 黄春红, 等. 洞庭湖鲢鱼体表黏液和肌肉营养组成对比分析[J]. *食品科学*, 2010, 31(3): 97-101.
- HAN Q, LI L L, HUANG C H, et al. Comparison of nutritional components in surface mucus and muscle of catfish grown in Dongting Lake area[J]. *Food Science*, 2010, 31(3): 97-101.
- [20] JURADO J, FUENTES-ALMAGRO C A, GUARDIOLA F A, et al. Proteomic profile of the skin mucus of farmed gilthead seabream (*Sparus aurata*) [J]. *Journal of Proteomics*, 2015, 120: 21-34.
- [21] 张静. 黄鳝 (*Monopterus albus*) 粘膜免疫系统的研究 [D]. 济南: 山东师范大学, 2007.
- ZHANG J. The study of the mucosal immune system of *Monopterus albus* [D]. Jinan: Shandong Normal University, 2007.
- [22] BONGA S E W. The stress response in fish[J]. *Physiological Reviews*, 1997, 77(3): 591-625.
- [23] 张伟, 王有基, 李伟明, 等. 运输密度和盐度对大黄鱼幼鱼皮质醇、糖元及乳酸含量的影响[J]. *水产学报*, 2014, 38(7): 973-980.
- ZHANG W, WANG Y J, LI W M, et al. Effects of transportation density and salinity on cortisol, glycogen and lactate of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) juveniles [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(7): 973-980.
- [24] 彭士明, 施兆鸿, 李杰, 等. 运输胁迫对银鲳血清皮质醇、血糖、组织中糖元及乳酸含量的影响[J]. *水产学报*, 2011, 35(6): 831-837.
- PENG S M, SHI Z M, LI J, et al. Effect of transportation stress on serum cortisol, glucose, tissue glycogen and lactate of juvenile silver pomfret (*Pampus argenteus*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(6): 831-837.
- [25] 杨丽萍, 秦超彬, 郑文佳, 等. 鱼类的葡萄糖感知与糖代谢调节研究进展[J]. *水产学报*, 2014, 38(9): 1639-1649.
- YANG L P, QIN C B, ZHENG W J, et al. Progress in research on the regulation of glucose sensing and carbohydrate metabolism in fish[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(9): 1639-1649.
- [26] 牛思佳, 郭金龙, 杨振才, 等. 鱼类葡萄糖耐量研究进展[J]. *水产科学*, 2015, 34(7): 459-463.
- NIU S J, GUO J L, YANG Z C, et al. A review: research advances in glucose tolerance in fish[J]. *Fisheries Science*, 2015, 34(7): 459-463.
- [27] 王磊, 陈再忠, 冷向军, 等. 野生及人工养殖七彩神仙鱼肌肉成分的比较[J]. *上海海洋大学学报*, 2016, 25(5): 719-725.
- WANG L, CHEN Z Z, LENG X J, et al. Comparison of

- muscle composition of wild and cultured discus fishes *Symphysodon* spp. [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2016, 25(5): 719-725.
- [28] 刘泓宇, 毛义波, 谭北平, 等. 饲料糖水平对不同食性鱼类生长及葡萄糖耐受能力的影响[J]. 水产学报, 2015, 39(12): 1852-1862.
- LIU H Y, MAO Y B, TAN B P, et al. Effects of different dietary carbohydrate levels on growth and glucose tolerance ability in fishes of different feeding habits [J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(12): 1852-1862.
- [29] IWAMA G K, VIJAYAN M M, FORSYTH R B, et al. Heat shock proteins and physiological stress in fish[J]. American Zoologist, 1999, 39(6): 901-909.
- [30] PANKHURST N W. The endocrinology of stress in fish: an environmental perspective [J]. General and Comparative Endocrinology, 2011, 170(2): 265-275.

## Epidermal mucus components analysis of discus fish (*Symphysodon haraldi*) during breeding period and interval-breeding period

ZHOU Jianqiao<sup>1,2,3</sup>, OUYANG Mingyan<sup>1,2,3</sup>, WEN Bin<sup>1,2,3</sup>, CHEN Zaizhong<sup>1,2,3</sup>, GAO Jianzhong<sup>1,2,3</sup>

(1. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** To investigate the components changing rule in epidermal mucus of discus fish (*Symphysodon haraldi*) during the breeding period, we measured the contents of cortisol, IgM, total protein, lactic acid and glucose in epidermal mucus. The results showed that the contents of cortisol, IgM, total protein, lactic acid and glucose in the epidermal mucus of *S. haraldi* were significantly influenced by fish gender, breeding period and there were significant interactions between gender and breeding period. In the free-swimming period of larvae, the contents of five components had significant difference between the female and male parent fish. When the discus fish began ‘lactating’, the components of epidermal mucus changed significantly, especially the male fish would secrete more nutrient and immune components for satisfying the needs of larvae.

**Key words:** *Symphysodon haraldi*; epidermal mucus; breeding period; interval-breeding period