

亚洲龙鱼形态结构及幼鱼生长特性

牟希东, 王培欣, 胡隐昌*, 汪学杰, 杨叶欣, 宋红梅, 李小慧, 罗建仁
(中国水产科学研究院珠江水产研究所, 广东 广州 510380)

摘要: 对亚洲龙鱼(金龙鱼)形态结构和幼鱼生长特性进行研究。结果表明:(1) 金龙鱼身体侧扁并延长,具腹棱,吻尖,口斜上位,颌须一对,体被大型圆鳞,鳞式 $23 \sim 25 \frac{3}{3}$;背鳍 $18 \sim 19$, 腹鳍 $1+4$, 臀鳍 $25 \sim 26$, 胸鳍 $1+6$, 尾鳍 15 ;舌端宽圆,游离,内具软骨,鳃弓 5 个,鳃耙数 $15 \sim 17$;胃大壁厚,呈“U”形盘曲,幽门盲囊 2 个;肝脏左叶大于右叶,鳔 1 个,长度几与腹腔相当,性腺一个,成熟雌鱼大约有 $30 \sim 60$ 粒成熟卵,卵径可达 $12 \sim 15$ mm;(2) 人工养殖条件下的金龙鱼体长(L)与体重(W)呈幂函数关系: $W=0.023 5L^{2.8763}$ ($R^2=0.9867$),说明其体长生长与体重生长略有差异,为异速生长类型;(3) 金龙鱼幼鱼 5 月龄前体长增长较慢,之后快速生长,体长(AL)和月龄(m)呈线性相关,关系式为 $AL = -0.007 7m^3 + 0.161 5m^2 + 1.363 3m + 6.688 3$ ($R^2 = 0.998 7$);幼鱼体重增长较快,体重(W)生长与月龄(m)的关系为 $W = -0.133 6m^3 + 5.554 5m^2 - 6.915m + 9.911 6$ ($R^2 = 0.997 2$);日增重率随着月龄的增加而波动, 12 月龄时最大 3.06 g/d;(4) 金龙鱼幼鱼期的肥满度随月龄不同而有所差异。

关键词: 亚洲龙鱼; 形态结构; 生长特性

中图分类号: S 917

文献标识码: A

亚洲龙鱼(Asian arowana),学名美丽硬仆骨舌鱼(*Scleropages formosus*),隶属骨舌鱼目(Osteoglossiformes)、骨舌鱼科(Osteoglossidae)、坚体鱼属(*Scleropages*)^[1],是世界上著名的珍贵观赏鱼类,主要分布在东南亚淡水水域,因体型优美,色彩艳丽,雍容典雅,寿命长,被誉为“热带观赏鱼之王”,极具观赏性,为此我国每年通过各种途径进口的亚洲龙鱼数量庞大,经济价值巨大。此外,亚洲龙鱼是侏罗纪遗留下来的原始鱼类^[2],保留了许多原始鱼类的解剖学特征,有“活化石”之称,对于探索鱼类的遗传进化有着重要的学术研究价值。然而,由于亚洲龙鱼性成熟晚、产卵量少^[3]、繁殖力低等特点,加上长期忽视对其野生资源的保护和合理利用,滥捕和栖息地破坏等因素使亚洲龙鱼野生资源量严重衰减,趋于

濒危^[1],故已被列入《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)附录 I,成为最高保护级别的物种。原产地印度尼西亚、马来西亚、新加坡等地先后进行亚洲龙鱼人工繁殖并获得成功,并成功繁育出子二代,亚洲龙鱼贸易恢复。但由于商业性技术封闭、亲本缺乏和地理因素等原因,我国曾一直无法突破其人工繁育难关,市场需求完全依赖进口。近年来,通过我国水产工作者的努力,亚洲龙鱼的人工繁殖在我国终获成功,但亚洲龙鱼的形态特征和生长特性等方面的研究未见报道。研究鱼类幼鱼的生长规律是诠释其生活史类型发生机理与途径的重要基础,也是提高幼鱼成活率的重要理论与实践依据。

由于亚洲龙鱼习性奇特(雄鱼口孵化受精卵)、价格昂贵等因素,国内外关于亚洲龙鱼的学

收稿日期:2010-06-02 修回日期:2010-06-28

资助项目:农业部“九四八”项目(2009-Z13);中国水产科学研究院科研基金项目(2003-3-5);广州市荔湾区科技计划(20082109029);农业部农业生物资源保护与利用项目(2130108);农业部淡水鱼类遗传育种和养殖生物学重点实验室开放基金(BZ2009-10)

通讯作者:胡隐昌, E-mail: huyec@163.com

术研究报道较少,主要集中在遗传结构方面。如利用 AFLP 技术获得了亚洲龙鱼(新加坡青龙鱼)的性别鉴别标记^[4];筛选分离了亚洲龙鱼(新加坡青龙鱼^[5]和印度尼西亚野生红龙鱼^[6])的微卫星标记,并利用 SSR 技术分析了亚洲龙鱼(马来西亚金龙鱼和新加坡青龙鱼)的遗传多样性^[7-8]及各种群间(新加坡青龙鱼、新加坡红龙鱼、马来西亚红尾金龙鱼、印度尼西亚金龙鱼和印度尼西亚红龙鱼)的亲缘关系^[9-10]。另有众多学者采用 PCR 技术克隆分析了新加坡青龙、马来西亚红尾金龙鱼、印度尼西亚金龙鱼和印度尼西亚红龙鱼的线粒体基因序列(D-loop^[11]、Cyt b^[12-13]、ATPase^[10]),论证了金龙鱼单系起源的观点以及种群间遗传分化关系。

由于不同流域、岛屿地理隔离等原因,亚洲龙鱼有多个形态差异而色彩差异显著自然种群(地位未定),通常分为红龙鱼(red arowana)、金龙鱼(golden arowana)、青龙鱼(green arowana)3类。有关鱼类形态结构与生长发育特性的研究已有诸多报道^[14-15],本文对金龙鱼的形态特征和内部结构进行观察和描述,以期为其分类和养殖提供参考依据,并对我国首次繁殖成功的金龙鱼幼鱼的生长特性进行初步研究,观测其早期体型变化和生长发育规律,既可丰富亚洲龙鱼幼鱼生长的基础研究,又可为金龙鱼规模化增养殖提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验鱼及其养殖方式

试验鱼亚洲龙鱼(金龙鱼)取自广州微湖水生生物技术有限公司。样品规格为全长8~43 cm,体重6.6~759.8 g,样本总数为20尾。2007年10月繁殖成功的金龙鱼苗,从卵黄囊即将消失时开始,每月测量1次鱼的体长、体重、体高等形态学数据。按1尾/箱的密度水族箱饲养,水族箱规格为1.2 m×0.58 m×0.45 m。水温保持在28~30℃,秋冬季节采用自动控温电加热棒控温。幼鱼开口摄食初期投喂活的摇蚊幼虫,每隔4 h喂食一次;体长达到20 cm后改用新鲜虾肉饲喂,每天投喂2~3次,每次以10 min内吃完为准。每缸配置1个压缩空气驱动海绵过滤器,以净化过滤、增氧、创造微流水,水质条件为DO>7 mg/L,pH 8.2,NH₃≤0.01 mg/L,NO₂⁻≤0.01 mg/L。

1.2 数据的测定和计算

生物学测定按文献[16]的方法进行。对所有样品进行外部形态特征的观察和描述,并用数码照相机拍照。测量项目包括全长(TL)、体长(BL)、体高(BH)和体重(W)等生物学参数,长度参数用游标卡尺测量,精确到0.01 cm,质量参数用电子天平称量,精确到0.01 g。数据处理采用Microsoft Excel和SPSS 15.0软件进行回归及作图。计数项目包括各鳍鳍条、侧线鳞、侧线上鳞、侧线下鳞、鳃耙数等。取4个样本,用解剖刀、解剖盘、医用解剖剪和镊子解剖,进行内部结构观察、测量和记录。体长和体重的关系(length-weight relationship): $W = AL^b$;日增长率(%)= $(N_2 - N_1)/(t_2 - t_1) \times 100$ (其中 N_2/N_1 分别为时间 t_2/t_1 时的体重或体长生长测定数据);饱满度(%)= $W/L^3 \times 100$ 。

2 结果与分析

2.1 外部形态和内部结构

金龙鱼身体侧扁,延长,体背缘较平直,腹缘浅弧形,具腹棱。头部呈三角形,吻尖,口斜上位,口裂宽而唇厚,下颌稍长于上颌,下颌最前端有一对粗而短的颌须。眼上侧位,在头部前端,鼻孔左右各一个,位于眼前上方。头部无鳞,鳃盖上可见近似“A”形凹痕,体被大型圆鳞,鳞嵴成网状排列(图1),鳞式23~25 $\frac{3}{3}$,背鳍、臀鳍和尾鳍基部有2~3排小圆鳞。侧线起点在鳃孔上缘,斜向下至腹鳍上方再向后平直延伸。胸鳍长,端部尖,不分支鳍条粗壮,呈弧形。腹鳍位于身体中部下缘,短小,略成三角形。背鳍与臀鳍均后位靠近尾鳍,臀鳍基长于背鳍基,形状宽短。尾鳍尖圆,尾柄短。背鳍18~19,腹鳍1+4,臀鳍25~26,胸鳍1+6,尾鳍15。体长为体高的4.03~4.35倍,头长的4.36~4.58倍;头长为吻长的4.75~6.38倍,眼径的5.75~7.16倍。鱼体背部和鳞片的底色为墨绿色至暗黄色,体侧鳞片有明显的金黄色边缘,且金黄色可能会延伸至体侧第六排鳞片和整个背部,头部侧面也具有耀眼的金黄色。背鳍及尾鳍上端1/3的部分呈深褐色,尾鳍的2/3部分、臀鳍和胸鳍则为橙红色。随着月龄的增长体色会加深。

金龙鱼上下颌内侧均具细密颌齿,舌端宽圆,游离,内具软骨。鳃弓5个,鳃耙数15~17。腹腔

长度约为体长的 1/2。食道粗短而壁厚,胃大壁厚,呈“U”形盘曲;幽门盲囊 2 个,长度与食道相当,约为胃长度的 1/2;肠道较细,壁薄,长度约为体长的 1/2。肝脏位于腹腔最前端,左叶大于右叶,红褐色;胆囊呈墨绿色,被胃幽门部覆盖,紧靠脾脏;胰脏呈弥散状,伴随肠系膜绕于肠管间。肾带状,紧贴腹腔上壁,长度与腹腔长度接近。鳔 1 个,壁薄,紧贴腹腔上壁并与腹腔粘连,长度几与腹腔相当,占据腹腔近 1/2 空间(图 2)。性腺位于鳔的下方、肠道上方,成熟雌鱼卵巢 1 个,有 150~300 粒不同成熟度的卵,成熟度最好的一批卵大约有 30~60 粒,成熟卵粒橘红色,卵径可达 12~15 mm(图 3)。

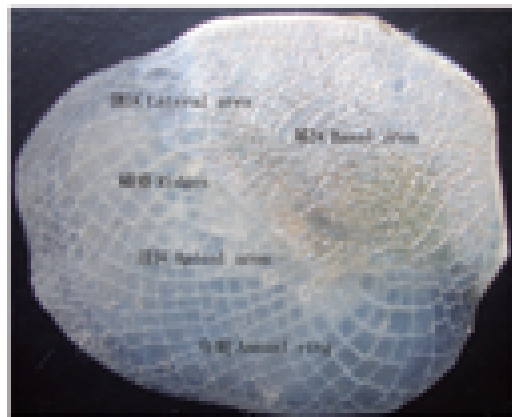


图 1 金龙鱼鳞片构造

Fig. 1 Scale structure of *S. formosus*

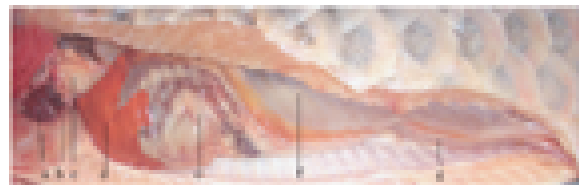


图 2 金龙鱼的内部结构

a. 心脏; b. 脾脏; c. 食道; d. 肝脏; e. 胃; f. 鳔; g. 肠道。

Fig. 2 Inner organ of *S. formosus*

a. heart; b. spleen; c. esophagus; d. liver; e. stomach; f. swim bladder; g. intestine.



图 3 金龙鱼卵巢和未成熟卵

Fig. 3 Ovary and immature spawn of

S. formosus

2.2 幼鱼生长特征

卵黄囊消失后幼鱼每个月的各种生长参数见表 1。金龙鱼幼鱼前 5 个月生长较慢,之后加快生长,一年后全长可超过 40 cm,体重可超过 500 g。

表 1 金龙鱼幼鱼期生长参数

Tab. 1 Growth parameters of juvenile *S. formosus*

月龄 month age	平均体重(g) body weight	平均全长(cm) total length	平均体长(cm) body length	平均体高(cm) body height	日增重(g/d) daily weight gain	日增长(mm/d) daily growth	肥满度(%) fatness
1	8.83	10.30	8.54	1.8	-	-	1.42
2	14.66	11.72	9.88	2.32	0.194	0.45	1.52
3	33.5	13.98	11.42	2.63	0.628	0.51	2.25
4	64.3	16.87	13.96	3.15	1.027	0.85	2.36
5	99.7	20.37	17.05	4.25	1.180	1.03	2.01
6	147.1	23.18	19.52	4.87	1.580	0.82	1.98
7	193.2	25.50	21.63	5.32	1.537	0.70	1.91
8	242.5	27.94	23.71	5.94	1.643	0.69	1.82
9	284.5	30.54	26.13	6.71	1.400	0.81	1.59
10	343.5	33.45	29.02	7.84	1.967	0.96	1.41
11	429.5	35.71	31.25	8.93	2.867	0.74	1.41
12	521.4	37.32	32.67	9.27	3.063	0.47	1.50
13	573.8	39.45	34.73	9.45	1.747	0.69	1.37
14	621.4	41.33	36.55	9.96	1.587	0.61	1.27

体长生长 金龙鱼幼鱼的体长生长曲线见图 4,平均体长和月龄呈非线性关系。经 14 个月的养殖金龙鱼的体长从 8.54 cm 长至 35.55 cm,

平均日生长 0.68 mm,最快日生长为 1.03 mm。对 1 龄幼鱼平均体长(AL)与月龄(m)的关系进行拟合可得: $AL = -0.0077m^3 + 0.1615m^2 +$

1.363 3m + 6.688 3 ($R^2 = 0.998 7$)。

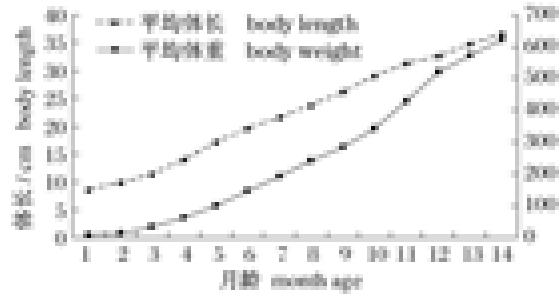


图4 金龙鱼幼鱼体长、体重生长曲线
Fig.4 Growth curves of body length and body weight of juvenile *S. formosus*

肥满度 金龙鱼幼鱼肥满度的变化如图5所示,在前期肥满度随月龄的变化而增长,在4月龄时达到最高(2.36),随后呈下降趋势,14月龄时达到最低(1.27)。

体重增长 金龙鱼幼鱼体重增长迅速,经14个月养殖时间平均体重由8.83 g增长到621.4 g,平均日增重1.46 g,最快日增重3.06 g,出现于12月龄时(表1)。前期日增重呈上升趋势,12月龄后逐渐稳定。根据表1,金龙鱼1龄幼鱼体重生长用计算机拟合,其平均体重(AW)与月龄(m)的关系为 $AW = -0.133 6m^3 + 5.554 5m^2 - 6.915m + 9.911 6$ ($R^2 = 0.997 2$)。由于采取一缸一鱼的养殖方式,不存在空间区域、饵料等方面的竞争,故金龙鱼幼鱼的个体体重差异小于50 g。

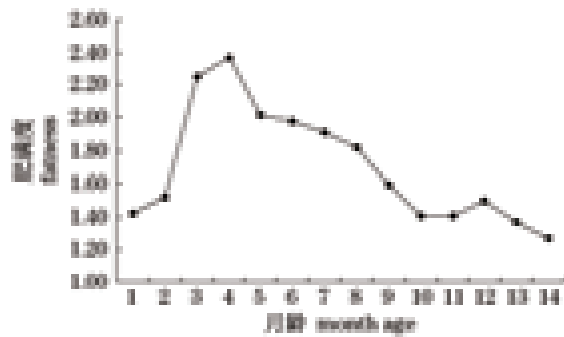


图5 1+龄金龙鱼幼鱼肥满度的变化
Fig.5 Variation of condition factor of *S. formosus* during age of 1 year old

体重与体长的幂相关 金龙鱼体长与体重关系幂函数方程为 $W = 0.023 5L^{2.876 3}$ ($R^2 = 0.986 7$) (图6), b 值为2.876 5,表明此生长阶段的金龙鱼生长为异速生长。

体型变化 金龙鱼幼鱼在各月龄时全长/

体长、体长/体高、全长/体高的变化情如图7所示,3条变化曲线均在1月龄时全长/体长、体长/体高、全长/体高比均达到最大。从整个生长过程来看,全长/体长比在整个幼鱼期趋于稳定(1.20),可作为金龙鱼的形态特征参数之一。采用方差分析进一步检验金龙鱼幼鱼期体型变化情况,结果表明全长/体长、体长/体高、全长/体高这3组体型指标每月之间差异不显著($P > 0.05$)。

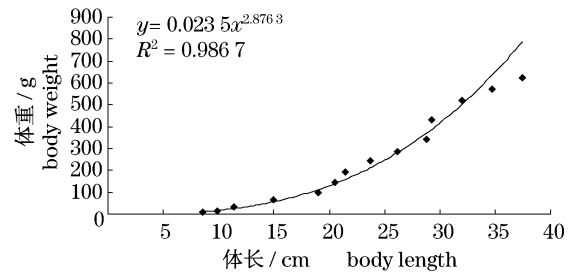


图6 金龙鱼平均体长与平均体重关系
Fig.6 Correlation between body length and body weight of *S. formosus*

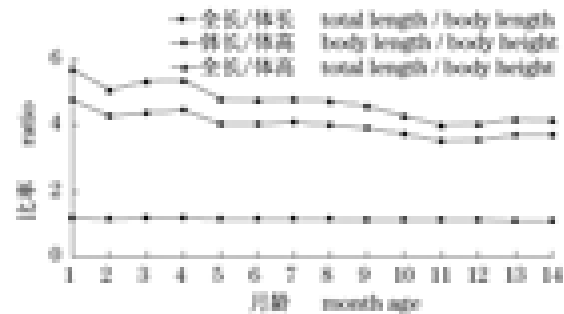


图7 金龙鱼幼鱼全长/体长、体长/体高、全长/体高的变化
Fig.7 Variation of total length/body length, body length/body height, total length/body height of juvenile *S. formosus*

3 讨论

3.1 金龙鱼与其他龙鱼的形态差异

由于东南亚地区是由冈瓦纳大陆北部边缘在古生代至中生代分裂出一系列微陆块,逐渐向北漂移,经过从古生代到新生代一系列构造活动碰撞和缝合而成,地质构造复杂,造就亚洲龙鱼主要种群(金龙鱼、红龙鱼和青龙鱼)不同的地理分布。金龙鱼原产于马来西亚彭亨州、丁加奴州和霹雳州及印尼苏门答腊的北干巴鲁河和坎帕尔河,成鱼头部两侧和大部分鳞片边缘为金黄色;红龙鱼原产于印尼西加里曼丹省的卡普阿斯河和森塔拉姆湖,成鱼鳞

片边缘红色,口和鳃盖有红斑块,各鳍和鳞片有深红、血红、橙红和橙黄等色泽;青龙鱼原产地为泰国、马来西亚、越南、印尼、柬埔寨和缅甸,鱼体呈银灰色而略带绿色。亚洲龙鱼(金龙鱼、青龙鱼和红龙鱼)不同种群的区域分布,与更新世时期的淡水生境相关^[3];体色差异很大,可能因为地质运动造成种群间的地理隔离,各种群在不同的环境中独立进化^[10],适应不同的水质、底质和植被等造成明显的体色差异。而在内部结构方面,Scott等^[17]通过研究马来西亚野生金龙鱼(4龄)的繁殖生物学状况,表明金龙鱼只有个性腺,成熟雄鱼最大性腺比例仅0.1%,暗示其产生的精子量很少,雄鱼交配后精巢高度血管化而呈棕褐色;成熟雌鱼卵巢可达到体重的11.5%,卵径可达19 mm。而本研究中解剖人工繁育个体成熟度(5~7龄)最好的一批卵有30~60粒,卵径12~15 mm,与Scott等^[17]结果相比,成熟卵的数量较大但卵径较小,这是否与野生个体与人工繁育个体差别及年龄有关,还有待于进一步研究。

亚洲龙鱼与其他龙鱼类形态差异更大。澳洲的乔氏硬仆骨舌鱼(*S. jardinii*)和硬仆骨舌鱼(*S. leichardti*)形态相似,与亚洲龙鱼相比体形细长,

尾部较细,鳍条较短,颌须短小,鱼体呈银灰色。乔氏硬仆骨舌鱼鳃盖、鳞片中央和奇鳍上有具灰色边缘的黄到淡红色斑纹,背鳍条20~24,臀鳍条28~32。硬仆骨舌鱼体形比乔氏硬仆骨舌鱼更加细长,体侧鳞片和奇鳍上有红色斑点,体长可达1 m。双须骨舌鱼(*Osteoglossum bicirrhosum*)和费氏骨舌鱼(*O. ferreirai*)产自南美洲,形态和亚洲龙鱼差别较大,身体呈带形,从臀鳍起点后逐渐缩小,腹部具棱突,上颌较下颌长,背鳍与臀鳍基长,臀鳍基超过体长的1/2,两者均位于体后部,几乎与尾鳍相连,腹鳍不分支鳍条延长,尾鳍小。双须骨舌鱼体色为银灰到银白色,幼鱼鳞片中央有黄到淡红色弧形斑纹,奇鳍边缘淡红色,随着生长逐渐消退变得不明显。费氏骨舌鱼稚鱼体侧有一条黑色的纵带从触须横切过眼睛,而一直延伸到尾部,其上方有黄色纵带,随着鱼体生长纵带消失而呈现银灰色,奇鳍则变成深蓝色至灰黑色(表2)。巨骨舌鱼(*Arapaima gigas*)和尼罗异耳骨舌鱼(*Heterotis niloticus*)现已从骨舌鱼科分出来,设立巨骨舌鱼科(Arapaimidae)。综上所述,各种骨舌鱼科鱼类种间形态差异程度与目前的分类关系是一致的。

表2 金龙鱼与其他骨舌鱼科鱼类外部形态比较

Tab.2 Comparison of external shape between *S. formosus* and several other Osteoglossidae fishes

种名 speices	体色 body color	体型 body shape
金龙鱼 golden arowana	成鱼头部两侧和大部分鳞片边缘为金黄色	身体侧扁,延长,体背缘较平直,腹缘浅弧形。胸鳍长,不分支鳍条粗壮。背鳍与臀鳍均后位靠近尾鳍,形状宽短。
红龙鱼 red arowana	成鱼鳞片边缘红色,口和鳃盖有红斑块,各鳍和鳞片有深红、血红、橙红和橙黄等色泽	同金龙鱼,但身体更修长,鳍条更长,体型更大
青龙鱼 green arowana	鱼体呈银灰色而略带绿色	同金龙鱼,但身体稍粗短
乔氏硬仆骨舌鱼 <i>S. jardinii</i>	鱼体呈银灰色,鳃盖、鳞片中央和奇鳍上有具灰色边缘的黄到淡红色斑纹	与亚洲龙鱼相比体形细长,尾部较细,鳍条较短,颌须短小,背鳍条20~24,臀鳍条28~32
硬仆骨舌鱼 <i>S. leichardti</i>	鱼体呈银灰色,体侧鳞片和奇鳍上有红色斑点	体形比乔氏硬仆骨舌鱼更加细长,体长可达1 m,尾部较细,鳍条较短,颌须短小
双须骨舌鱼 <i>O. bicirrhosum</i>	体色为银灰到银白色,幼鱼鳞片中央有黄到淡红色弧形斑纹,奇鳍边缘淡红色,随着生长逐渐消退变得不明显	形态和亚洲龙鱼差别较大,身体呈带形,从臀鳍起点后逐渐缩小,腹部具棱突,上颌较下颌长,背鳍与臀鳍基长,臀鳍基超过体长的1/2,两者均位于体后部,几乎与尾鳍相连,腹鳍不分支鳍条延长,尾鳍小
费氏骨舌鱼 <i>O. ferreirai</i>	稚鱼体侧有一条黑色的纵带从触须横切过眼睛,而一直延伸到尾部,其上方有黄色纵带,随着鱼体生长纵带消失而呈现银灰色,奇鳍则变成深蓝色至灰黑色	同双须骨舌鱼,但体型较小

3.2 金龙鱼幼鱼生长特征

金龙鱼受精卵由雄鱼含在口中孵化,直至卵黄囊消失为止。仔鱼期以卵黄为营养源,大约受精后5周卵黄囊消失,幼鱼开始摄食小型鱼虾和昆虫,此时可离开雄鱼独立生活。金龙鱼开口摄食初期体重增长较慢,从体重8.83 g的鱼苗需要养殖近5个月的时间体重才能达到100 g,与一般鱼类幼鱼的生长规律一致。之后体重加快增长,12月龄时体重可达到500 g以上。其中4月龄起是金龙鱼生长旺盛的时期,此阶段日增长率也不断提高,最高达到1.03 g/d,随后日增长率有逐渐下降的趋势。经14 m的精心培育,体长由8.54 cm长至36.55 cm,12月龄时日增长仅0.47 mm/d,增长率偏低可能是因为水温偏高(超过30℃)。很多鱼类在幼鱼时期都显示出在一定的温度范围内生长速度随着温度的上升而生长速率加快,而高于这个温度范围生长速率明显下降的现象^[18],这说明过高的水温不利于龙鱼幼鱼的生长。在体型方面,金龙鱼幼鱼5月龄后体型变化不大,表现在全长/体长、体长/体高、全长/体高3个比值的变化曲线趋于平缓,说明5月龄后金龙鱼的这3个比值可作为形态学研究的特征参数,因其变化与年龄和体型差异的相关性很小,可以避免年龄和体型差异对结果的干扰。

肥满度是一种表征动物的生理或营养状况的形态生理指数^[19],是衡量鱼体丰满程度、营养状况和环境条件的重要指标,用于分析不同饲养条件下动物的生长状况或繁殖能力与个体营养状况之间的关系^[20]。鱼类在不同的年龄和生长阶段,肥满度有所变化。本实验的结果表明,金龙鱼的肥满度在卵黄囊消失后随着月龄不同而有所变化,前期增长而后期呈下降趋势,数值在1.27~2.36波动。因自然条件下生活的鱼类的不同月龄的肥满度,可以作为人工养殖鱼类营养状况的一个标尺,但是本实验是在一定空间内的人工控制下的养殖状态,其肥满度没有自然条件下的季节性变化,更多的是受饲养管理和营养调控质量的影响,本实验的肥满度随月龄的变化只能反映一个大致的范围和趋势。同时,由于鱼类的体型和环境因素的不同,其体长和体重关系也可以表明鱼体的营养状况和生长状态及趋势。大量应用表明,用Keys公式($W = aL^b$)方程表达的鱼类体长-体重关系是较好的方式^[21]。b值用来判断

鱼类是否处于等速生长,在幼鱼阶段b值多低于3,呈强异速生长,随着鱼的生长,异速性减弱,发育趋向均匀,到成鱼时b值都接近或大于3。金龙鱼幼鱼时期 $b = 2.8765$,符合上述观点,即此生长阶段的金龙鱼为异速生长,显示鱼类生长发育的不均匀性^[22],而这种不均匀性是由于体重(或体积)和体长不均匀增长。在人工控温、营养及水质调控等养殖条件下,处于适宜生活环境的金龙鱼幼鱼阶段,生长参数基本同步,这为人工养殖管理提供参考依据。

由于亚洲龙鱼巨大的经济价值,加上起源时间可追溯到冈瓦纳大陆期^[12],在鱼类进化史上占有重要地位。对金龙鱼的形态构造和幼鱼生长特性的研究有助于深入了解这种古老鱼类的生活史类型发生机制和遗传特征,为进一步合理开发和工厂化增养殖提供数据资料。

参考文献:

- [1] Greenwood P H, Rosen D E, Weitzman S H, *et al.* Phyletic studies of teleostean fishes, with a provisional classification of living forms [J]. *Bull Am Mus Nat Hist*, 1966, 131: 338-456.
- [2] Bonde N. Paleoenvironment in the "North Sea" as indicated by the fish bearing Mocladydeposit (Paleocene/Eocene) of Denmark [J]. *Mededelingen Werkgroep voor Tertiaire Kwartaire Geologie*, 1979, 16: 3-16.
- [3] Dawes L, Lim L L, Cheong L. The dragon fish [M]. England: Kingdom Books, 1997: 75-90.
- [4] Yue G H, Ong D, Wong C C, *et al.* A strain-specific and a sex-associated STS marker for Asian arowana (*Scleropages formosus*, Osteoglossidae) [J]. *Aquaculture Research*, 2003, 34: 951-957.
- [5] Yue G H, Chen F, Orban L. Rapid isolation and characterization of microsatellites from the genome of Asian arowana (*Scleropages formosus*, Osteoglossidae, Pisces) [J]. *Molecular Ecology*, 2000, 9: 1007-1009.
- [6] Yue G H, Zhu Z Y, Lin G, *et al.* Novel polymorphic microsatellites for studying genetic diversity of red Asian arowanas [J]. *Conservation Genetics*, 2006, 7: 627-629.
- [7] Shafiqur R, Mohd Z, Pek Y T, *et al.* Microsatellite analysis of wild and captive population of Asian arowana (*Scleropages formosus*) in Peninsular Malaysia [J]. *J Biol Sci*, 2008, 1: 1-9.

- [8] Mu X D, Hu Y C, Wang X J, *et al.* Genetic analysis of *Scleropages formosus* golden Asian arowana using microsatellite DNA [J]. Journal of Agricultural Science, 2009, 1(1) :53 - 58.
- [9] Yue G H, Yang L, Lian C L, *et al.* Monitoring the genetic diversity of three Asian arowan (*Scleropages formosus*) captive stocks using AFLP and microsatellites [J]. Aquaculture, 2004, 237:89 - 102.
- [10] Tang P Y, Sivananthan J, Pillay S O, *et al.* Genetic structure and biogeography of Asian arowana (*Scleropages formosus*) determined by microsatellite and mitochondrial DNA analysis [J]. Asian Fisheries Science, 2004, 17:81 - 92.
- [11] 潘阳, 白俊杰, 叶星, 等. 2 种亚洲龙鱼的 D-Loop 序列结构分析 [J]. 湛江海洋大学学报, 2005, 25 (4) :5 - 8.
- [12] Kumazawa Y, Mutsumi N. Molecular phylogeny of Osteoglossoids: a new model for Gondwanian origin and plate tectonic transportation of the Asian Arowana [J]. Mol Biol Evol, 2000, 17 (12): 1869 - 1878.
- [13] Hu Y C, Mu X D, Wang X J, *et al.* Preliminary study on mitochondrial DNA cytochrome B sequences and genetic relationship of three Asian arowana *Scleropages formosus* [J]. International Journal of Biology, 2009, 2(1) :28 - 32.
- [14] 华元渝, 李廷友, 邹宏海. 养殖型暗纹东方鲍生长与发育特性 [J]. 水产学报, 2004, 28(1) :8 - 14.
- [15] 李思发, 颜标, 蔡完其, 等. 尼罗罗非鱼与萨罗罗非鱼正反交鱼自繁后代 F₂ 耐盐性、生长性能及亲本对杂种优势贡献力的评估 [J]. 水产学报, 2008, 32 (3) :335 - 341.
- [16] 孟庆闻, 李婉端, 周碧云. 鱼类学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995:45 - 46.
- [17] Scott D C B, Fuller J D. The reproductive biology of *Scleropages formosus* (Muller Schlegel) (Osteoglossomorpaha, Osteoglossidae) in Malaya, and morphology of its pituitary gland [J]. J Fish Biol, 1976, 8:45 - 53.
- [18] Schreck C B. Physiological, behavioral, and performance indicators of stress [J]. Am Fish Soc Symp, 1990, 8:29 - 37.
- [19] Murray D L. Differential body condition and vulnerability to predation in snowshoe hares [J]. Journal of Animal Ecology, 2002, 71:614 - 625.
- [20] Badiani A, Stipa S, Nanni N, *et al.* Physical indices, processing yields, compositional parameters and fatty acid profile of three species of cultured sturgeon (Genus *Acipenser*) [J]. J Sci Food Agri, 1997, 74 (2) :257 - 264.
- [21] 黄真理, 常剑波. 鱼类体长与体重关系中的分形特征 [J]. 水生生物学报, 1999, 23(4) :330 - 336.
- [22] 邓中彝, 余志堂, 许蕴珩, 等. 中华鲟年龄鉴别和繁殖群体结构的研究 [J]. 水生生物学报, 1985, 9 (2) :99 - 110.

Morphological structure and growth characteristics of juvenile Asian arowana (*Scleropages formosus*)

MU Xi-dong, WANG Pei-xin, HU Yin-chang*, WANG Xue-jie,
YANG Ye-xin, SONG Hong-mei, LI Xiao-hui, LUO Jian-ren

(Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, China)

Abstract: This study investigated morphological structure and growth characteristics of juvenile Asian arowana, *Scleropages formosus* listed in CITES as a highly endangered fish species, which is an ancient member of the Osteoglossidae family inhabiting Southeast Asia. The result showed (1) body compressed and elongated, with pelvic scutes, snout pointed sharply, mouth superior and slit slanted, chin barbells 1 pairs, cycloid scales very large on body, scale formula 23 – 25; dorsal fin 18 – 19, pelvic fin 1 + 4, anal fin 25 – 26, pectoral fin 1 + 6, caudal fin 15. End of the tongue roundness, dissociation, with cartilage; 5 gill archs, 15 – 17 gill rakers; stomach with “U”-shape winding is big and thick wall, 2 pyloric caecum; left liver bigger than right liver; 1 swim bladder, almost as long as abdominal cavity; 1 gonad, mature females have about 30 – 60 mature eggs, egg diameter up to 12 – 15 mm. (2) The general correlation equation of body length (AL) and body weight (W) was $W = 0.0235L^{2.8763}$ ($R^2 = 0.9867$) under artificial farming conditions, which indicated the growth trend of body length and body weight was almost synchrony. (3) Body length of juvenile Asian arowana grew relatively slowly before five-month-old but subsequently accelerated growth. The relation with body length and month-old presented linear, namely $AL = -0.0077m^3 + 0.1615m^2 + 1.3633m + 6.6883$ ($R^2 = 0.9987$). Then the linear correlation equations between body weight that rapidly put on weight at juvenile stage and month-old was $W = -0.1336m^3 + 5.5545m^2 - 6.915m + 9.9116$ ($R^2 = 0.9972$). The value for daily weight gain varied with different periods of growth, and the growth maximum of daily weight gain was 3.06 g/d at twelve-month-old. (4) And fatness of juvenile Asian arowana usually varied with the month age.

Key words: *Scleropages formosus*; morphological structure; growth characteristics

Corresponding author: HU Yin-chang. E-mail: huyc2@163.com