

鞍带石斑鱼仔稚幼鱼骨骼发育与生长特性研究

吕雪娇^{1,2,3}, 王雨浓^{1,2,3}, 刘清华^{1,2}, 翟介明⁴, 李 军^{1,2}

(1. 中国科学院 海洋研究所 实验海洋生物学重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋生物学与生物技术功能实验室, 山东 青岛 266237; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 莱州明波水产有限公司, 山东 烟台 261418)

摘要: 骨骼发育对于养殖鱼类苗种培育至关重要, 骨骼畸形会影响仔稚幼鱼的外部形态及功能需求。作者利用骨骼染色技术和显微测量的方法对鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*)仔稚幼鱼的骨骼发育及生长特性进行连续观察和测量。实验结果表明: 鞍带石斑鱼初孵仔鱼不存在骨与软骨结构, 鞍带石斑鱼在变态前期和变态早期(长棘期)仔鱼的全长、颅骨长度、脊柱长度及尾鳍复合物的长度增加缓慢, 骨骼发育过程中与摄食、呼吸及游泳功能相关的骨骼优先发育, 如颅骨(颌骨、鳃)和鳍元件, 且骨化顺序与发育顺序基本一致。进入变态晚期(收棘期), 营养摄取及利用的器官发育趋于完善, 稚鱼进入快速生长阶段。此外, 在仔稚鱼发育早期, 颅骨、脊柱以及尾鳍复合物中存在异速生长特性, 呈现为在变态前期和变态早期(长棘期)颅骨和尾鳍复合物为正异速生长, 而脊柱为负异速生长; 在变态晚期(收棘期)和变态后期, 颅骨为负异速生长, 而脊柱和尾鳍复合物为近等速生长。因此, 鞍带石斑鱼仔稚幼鱼的颅骨、脊柱及尾鳍复合物骨骼发育的异速生长现象与摄食、呼吸及游泳功能相适应。

关键词: 鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*); 仔稚幼鱼; 骨骼发育; 异速生长

中图分类号: S9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2018)05-0116-06

DOI: 10.11759/hyxx20180308002

卵生鱼类胚后发育过程中, 初孵仔鱼脱离了母体和卵壳的保护, 对环境和营养因子的变化非常敏感^[1-3]。初孵仔鱼器官发育不完善, 在呈现为成鱼形态之前需经历变态过程^[4-6], 并在长期的进化过程中形成了与生存相关的器官优先发育的模式, 称为异速生长^[7-8]。骨骼发育对于养殖鱼类苗种培育至关重要, 异常发育的骨骼影响外部形态及功能需求, 导致运动困难、生长迟滞、甚至引发高的死亡率, 导致较大的经济损失和劳动力浪费^[9-12]。鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*), 俗称龙胆石斑, 隶属鲈形目(Perciformes)、鲷科(Serranidae)、石斑鱼属(*Epinephalus*), 为暖水性珊瑚礁鱼类, 主要分布在东南亚与澳大利亚附近海域、中国南海诸岛和海南岛等海域, 但数量稀少。鞍带石斑鱼是石斑鱼类群中体型最大的鱼类, 生长速度快、抗病性强、肉质鲜美, 具有很高的营养价值。但由于人工繁育技术的限制, 培育过程中产生较高死亡率, 严重限制了其海水养殖产业的发展。对鞍带石斑鱼苗种培育过程中的养殖条件优化及胚胎发育和胚后外部形态发育的研究已有报道^[13-16], 但尚未见对其骨骼发育及早期发育阶段异速生长研究的报道。本实验中, 作者系统地研

究了鞍带石斑鱼苗种培育过程中仔稚鱼的生长特性、骨骼发育及它们之间的关系。本实验结果可为鞍带石斑鱼苗种培育技术的优化提供指导。

1 材料与方法

1.1 鞍带石斑鱼仔稚鱼的培育

亲鱼来自山东省莱州明波水产科技有限公司, 室内标准条件养殖, 对亲鱼进行人工催产并经过人工授精获得受精卵, 收集受精卵转移到孵化网箱, 水温 29℃±0.5℃, 缓水流, 持续曝气。初孵仔鱼转移到 25 L 养殖池, 养殖池中提前播种微绿球藻藻液, 水温 29℃±0.5℃, 溶解氧量 7.0~8.5 mg/L, 盐度 30~32, pH 7.7~8.0, 持续曝气, 弱光。仔鱼孵化后 3 d 开口, 孵化后 2~10 d 投喂 S 型褶皱臂尾轮虫(*Brachionus*

收稿日期: 2018-03-08; 修回日期: 2018-04-24

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金资助项目(CARS-47)

[Foundation: Supported by China Agriculture Research System, No.CARS-47]

作者简介: 吕雪娇(1991-), 女, 山东聊城人, 硕士研究生, 主要从事鱼类早期骨骼发育研究, E-mail: lvxuejiao15@mails.ucas.ac.cn; 李军, 通信作者, 研究员, E-mail: junli@qdio.ac.cn; 刘清华, 通信作者, 研究员, E-mail: qinghualiu@qdio.ac.cn

plicatilis), 孵化后 6~27 d 投喂 L 型轮虫, 孵化后 16~40 d 投喂卤虫(*Artemia* sp. *nauplii*)无节幼体, 孵化后 30~45d 投喂大卤虫。

1.2 鞍带石斑鱼仔稚鱼样本的采集

样本采集包括的发育时期有变态前期、变态早期(长棘期)、变态晚期(收棘期)及变态后期, 变态期间背/臀鳍棘经历出现-延伸-退化过程。从孵化后开始取样直到孵化后 45 d, 每天早上投饵前随机取 30 个体, 测量生长数据并固定。样本用过量的 MS-222 (Sigma-Aldrich, Saint Louis)麻醉后 10%福尔马林溶液固定至少 24 h, 确保充分固定, 室温保存在 70%乙醇中。

1.3 鞍带石斑鱼仔稚鱼样本的骨骼染色

骨骼染色方法根据文献[17-18]描述的方法, 样品处理后保存在甘油中, 并加入少量麝香草粉防止细菌污染。

1.4 鞍带石斑鱼仔稚鱼骨骼染色样本观察和生长发育数据的采集

染色的仔稚幼鱼样品放入加有甘油的培养皿中,

用尼康 SMZ 1000 体视镜观察, 并用尼康 DS-Fi1 拍照系统进行照片采集, 采集的图像用 Adobe Photoshop CS 软件(www.photoshop.com)进行处理。仔稚幼鱼的全长、颅骨长度、脊柱长度和尾鳍复合物长度用 SMZ1000 体视镜测量。

所有的数据均用 SPSS 16.0 软件(www.ibm.com)进行分析, 统计数据表现为 $\text{mean} \pm \text{S.D.}$ 并对数据进行 ANOVA 分析, 并在显著性水平达到 0.05 时进行 T 检验。异速生长用方程用 $y=ax^b$ 进行分析, 其中 y 表示测量的仔稚幼鱼颅骨长度/脊柱长度/尾鳍复合物的长度, a 表示截距, x 表示仔稚幼鱼全长, b 表示生长系数^[7]。当生长系数 $b=1$ 时, 代表等速生长, 生长系数 $b>$ 或 <1 时, 分别代表正异速生长或负异速生长。

2 实验结果

2.1 鞍带石斑鱼苗种培育过程中的骨骼发育

鞍带石斑鱼仔稚鱼骨骼发育见图 1。初孵仔鱼全长 $1.5 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, 不存在任何软骨与骨元件。当仔鱼全长达到 $2.3 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ (3dph)时, 仔鱼开口, 此时

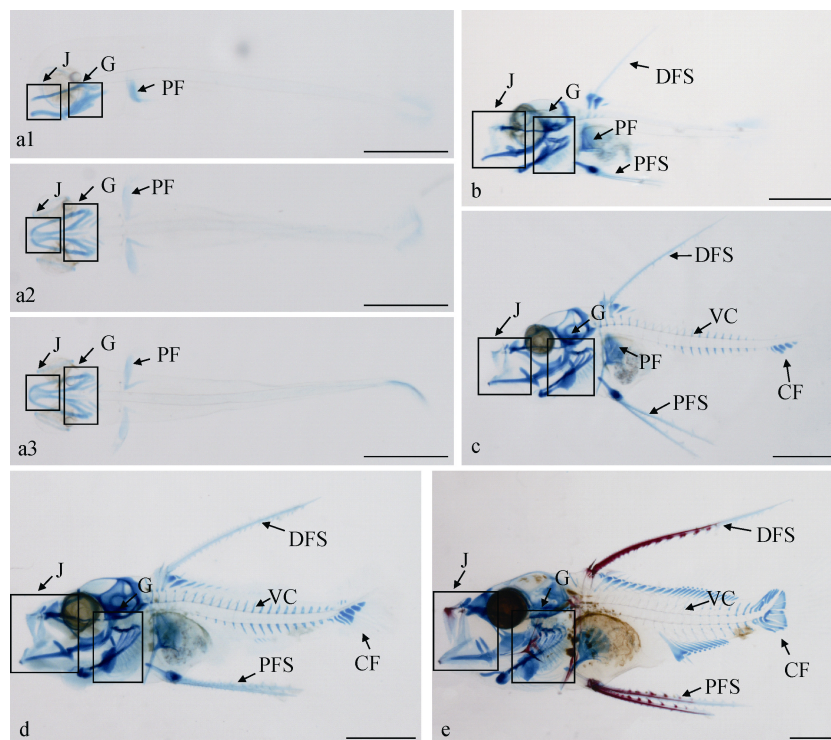


图 1 鞍带石斑鱼仔稚鱼骨骼发育时序

Fig. 1 Timing and process of the development of *E. lanceolatus*

a1、a2、a3. 仔鱼全长 $2.3 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, a1. 侧面观, a2. 腹侧观, a3. 背侧观; b. 仔鱼全长 $4.1 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$; c. 仔鱼全长 $4.8 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$; d. 仔鱼全长 $6.4 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$; e. 仔鱼全长 $9.2 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$; CF. 尾鳍; DFS. 背鳍棘; G. 鳃; J. 颌骨; PF. 胸鳍; PFS. 腹鳍棘; VC. 脊柱
a1, a2, a3. total length (TL) $2.3 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, a1. the lateral view, a2. the ventral view, a3. the dorsal view; b. $4.1 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm TL}$; c. $4.8 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm TL}$; d. $6.4 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm TL}$; e. $9.2 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm TL}$; CF. Caudal fin complex; DFS. Dorsal fin spine; G. gill; J. Jaw; PF. Pectoral fin; PFS. Pelvic fin spine; VC. Vertebral column

存在的骨骼元件主要集中于头部,此外,胸鳍原基也可观察到(图 1 a)。当仔鱼全长达到 $4.1 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ (12dph)时,颅骨的发育更加完善,背鳍、腹鳍和脊柱发育起始,背棘和腹棘不断延长,进入变态早期(图 1 b)。当仔鱼全长达到 $4.8 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ (15dph)时,颅骨、脊柱继续发育,背棘和腹棘继续延长,此外,尾鳍发育起始(图 1 c)。仔鱼骨骼发育不断完善,当仔鱼全长达到 $6.4 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ (20dph)时,颅骨骨骼接近成体状态(图 1 d)。当仔鱼全长达到 $9.2 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ (25dph)时,仔鱼身体各部分骨骼基本形成,此时背棘和腹棘达到最长状态,可达仔鱼全长的 $1/2$;部分骨骼骨化过程起始,颅骨中的颌骨与鳃盖骨、背棘、腹棘优先骨化(图 1 e)。

2.2 鞍带石斑鱼早期异速生长特性

生长与日龄的关系见图 2。鞍带石斑鱼仔稚鱼的全长、颅骨长度、脊柱长度及尾鳍复合物长度在变态前期($1.5 \sim 3.9 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, $0 \sim 10 \text{ dph}$)和变态早期(长棘期 $3.9 \sim 10 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, $11 \sim 25 \text{ dph}$)增加缓慢;当仔鱼进入变态晚期(收棘期 $10 \sim 25.8 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, $26 \sim 41 \text{ dph}$)增加较为迅速,且在此阶段出现较明显的波动性,其中全长及脊柱长的波动性较明显,而颅骨长度和尾鳍复合物长度的波动性较为缓和。

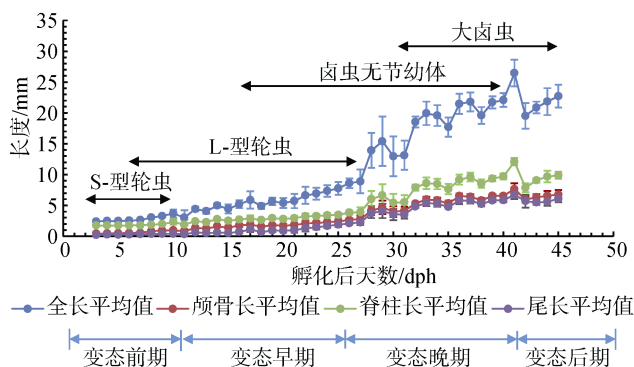


图 2 鞍带石斑鱼仔稚鱼全长、颅骨长度、脊柱长度及尾鳍复合物长度相对于日龄的关系

Fig. 2 Total length, cranium length, vertebral column length, and caudal fin complex length of *E. lanceolatus* during larval and juvenile development related to days after hatching

颅骨异速生长特性见图 3。鞍带石斑鱼仔稚鱼的颅骨在变态前期($1.5 \sim 3.9 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, $0 \sim 10 \text{ dph}$)和变态早期(长棘期 $3.9 \sim 10 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, $11 \sim 25 \text{ dph}$)呈现正异速生长模式,在变态晚期(收棘期 $10 \sim 25.8 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, $26 \sim 41 \text{ dph}$)以及变态后期为负异速生长。

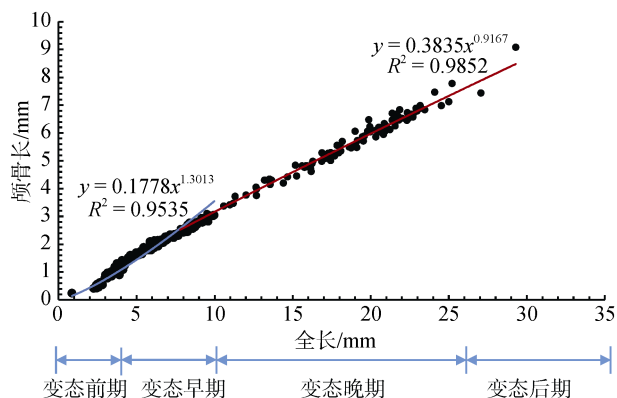


图 3 鞍带石斑鱼颅骨相对于全长的异速生长关系

Fig. 3 Allometric growth of the cranium related to the total length of *E. lanceolatus*

脊柱的异速生长特性见图 4。鞍带石斑鱼仔稚鱼的脊柱在变态前期($1.5 \sim 3.9 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, $0 \sim 10 \text{ dph}$)和变态早期(长棘期 $3.9 \sim 10 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, $11 \sim 25 \text{ dph}$)呈现负异速生长模式,在变态晚期(收棘期 $10 \sim 25.8 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, $26 \sim 41 \text{ dph}$)以及变态后期为近等速生长。

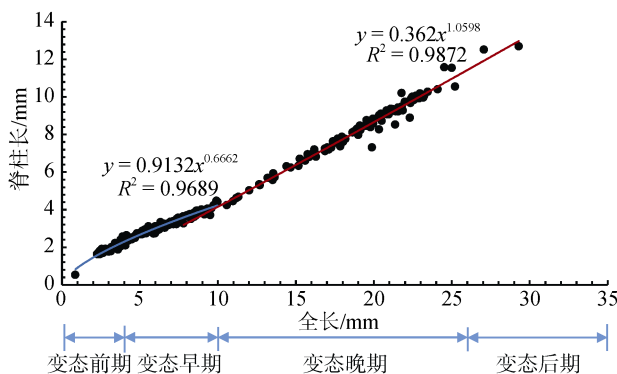


图 4 鞍带石斑鱼脊柱相对于全长的异速生长关系

Fig. 4 Allometric growth of the vertebral column related to the total length of *E. lanceolatus*

尾鳍复合物的异速生长特性见图 5。鞍带石斑鱼仔稚鱼的尾鳍复合物在变态前期($1.5 \sim 3.9 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, $0 \sim 10 \text{ dph}$)和变态早期(长棘期 $3.9 \sim 10 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, $11 \sim 25 \text{ dph}$)呈现正异速生长,在变态晚期(收棘期 $10 \sim 25.8 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, $26 \sim 41 \text{ dph}$)以及变态后期为近等速生长。

3 讨论

饥饿和被捕食是影响仔稚幼鱼存活的主要影响因素之一^[19-22],因此,在长期的进化过程中形成了与生存相关的器官优先发育并表现为异速生长的发

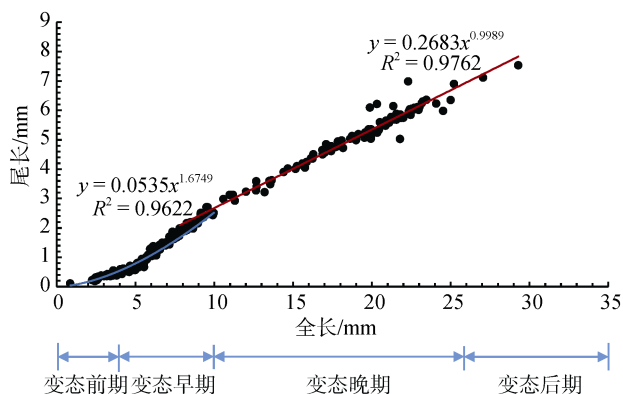


图5 鞍带石斑鱼尾鳍复合物相对于全长的异速生长关系
Fig. 5 Allometric growth of the caudal fin complex related to the total length of *E. lanceolatus*

育模式^[23]。鞍带石斑鱼仔稚幼鱼的全长、颅骨长度、脊柱长度及尾鳍复合物长度在变态前期及变态早期随日龄变化缓慢,作者推测,可能是由于初孵仔鱼的器官发育不完善,从而导致营养摄取及利用能力较低,在此阶段仔鱼所摄取的能量主要用于与生存相关的器官的发育;在变态晚期和变态后期,稚鱼营养摄取及利用的器官发育趋于完善,因此进入快速生长发育阶段,这种发育模式也在其他鱼类中发现,如斑石鲷(*Oplegnathus punctatus*)^[24]、施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)^[25]、条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)^[26]等。

在本实验中,在仔鱼早期发育阶段颅骨优先发育,在变态前期和变态早期(长棘期)颅骨呈现正异速生长模式,进入变态晚期(收棘期),颅骨接近成体状态并呈近等速生长。类似的发育模式也在斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)^[27]和斑石鲷^[24]中发现,而在鲩鱼(*Miichthys miiuy*)中,颅骨发育则表现为在较早的发育阶段为正异速生长,在较晚的阶段为负异速生长^[28]。此外,在施氏鲟^[25]和大马哈鱼(*Oncorhynchus keta*)^[29]的整个早期发育阶段颅骨发育均呈现为正异速生长。

在鞍带石斑鱼中,变态前期脊索是贯穿身体的唯一轴向支撑结构,变态早期脊柱发育起始。在变态前期和变态早期(长棘期),脊柱呈负异速生长,变态晚期(收棘期)和变态后期呈近等速生长,这种发育模式可能是由于仔鱼在发育早期所摄取的营养主要用于与生存相关器官的发育,如与摄食和呼吸相关的颅骨结构,这种趋势也在西伯利亚鲟(*Acipenser baeri*)中发现^[30]。而在条石鲷中,脊柱在早期发育期的较早阶段表现为近等速增长,在较晚的时期呈现

负异速增长^[26],在鲩鱼(*M. miiuy*)中,脊柱在整个早期发育阶段均呈近等速增长^[28];而在大马哈鱼(*O. keta*)中,脊柱在整个早期发育阶段均呈正异速增长^[29]。

鞍带石斑鱼尾鳍复合物的生长特性与颅骨类似,在仔鱼变态前期和变态早期(长棘期)为正异速生长,进入变态晚期(收棘期)为近等速生长,尾鳍的这种发育模式使仔稚鱼较早的时期获得向前推进的能力,有利于捕食和逃避被捕食。相似的发育模式也在西伯利亚鲟,施氏鲟和条石鲷中发现^[30, 25-26];而在斜带石斑鱼、大马哈鱼和鲈鲤(*Percocypris pingipingi*)中尾鳍在整个早期发育期均表现为正异速生长^[27, 29, 31]。此外,在斑石鲷和鲩鱼中,尾鳍在较早的发育阶段表现为正异速增长,而在较晚的时期呈现负异速增长^[24, 28]。

通过对鞍带石斑鱼仔稚幼苗种培育过程中骨骼发育与生长特性的研究,发现与大多数硬骨鱼类类似,颅骨、脊柱和鳍均呈现出异速生长特性,骨骼发育起始于孵化后,并且与摄食和呼吸相关的颅骨原件优先发育,这是在长期的进化过程中形成的适应生存环境提高种群成活率的结果。本研究表明,在苗种培育过程中,可以根据鞍带石斑鱼早期骨骼发育与生长特性,创造有利条件,提高仔稚鱼存活率并降低畸形率。

参考文献:

- [1] Gluckmann I, Huriaux F, Focant B, et al. Postembryonic development of the cephalic skeleton in *Dicentrarchus labrax* (Pisces, *Perciformes*, *Serranidae*)[J]. *Bulletin of Marine Science-Miami*, 1999, 65(65): 11-36.
- [2] Karlsen Ø, Vand M T, Rønnestad I, et al. Copepods enhance nutritional status, growth and development in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) larvae - can we identify the underlying factors?[J]. *Peerj*, 2015, 3(2): 91-101.
- [3] Witten P E, Owen M A G, Fontanillas R, et al. A primary phosphorus-deficient skeletal phenotype in juvenile Atlantic salmon *Salmo salar*: the uncoupling of bone formation and mineralization[J]. *Journal of Fish Biology*, 2016, 88(2): 690.
- [4] Balon E K. Alternative ways to become a juvenile or a definitive phenotype (and on some persisting linguistic offenses)[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1999, 56(1-2): 17-38.
- [5] Blaxter J H S. Development: eggs and larvae[J]. *Fish Physiology*, 1969, 3: 177-252.
- [6] Osse J W M, Boogaart J G M V D, Snik G M J V, et al. Priorities during early growth of fish larvae[J]. *Aquaculture*, 1997, 155(1-4): 249-258.

- [7] Fuiman L A. Growth gradients in fish larvae[J]. Journal of Fish Biology, 1983, 23(1): 117-123.
- [8] Osse J W M, Boogaart J G M V D. Allometric growth in fish larvae: timing and function[J]. American Fisheries Society Symposium, 2004, 167-194.
- [9] Boglione C, Gisbert E, Gavaia P, et al. Skeletal anomalies in reared European fish larvae and juveniles. Part 2: main typologies, occurrences and causative factors[J]. Reviews in Aquaculture, 2013, 5(s1): 121-167.
- [10] Huang C, Tan X, Wu K, et al. Osteological development and anomalies in larval stage of hatchery-reared yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*[J]. Aquaculture Research, 2016, 47(4): 1125-1140.
- [11] Youn P J, Han K H, Kwon C J, et al. Early osteological development of larvae and juveniles in red spotted grouper, *Epinephelus akaara* (Pisces: Serranidae)[J]. Development & Reproduction, 2016, 20(2): 87-101.
- [12] Lopes T D S, Freitas T M D, Jomori R K, et al. Skeletal anomalies of pacu, *Piaractus mesopotamicus*, larvae from a wild-caught broodstock [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2014, 45(1): 15-27.
- [13] 黎祖福, 陈省平, 庄余谋, 等. 鞍带石斑鱼人工繁殖与鱼苗培育技术研究[J]. 渔业科学进展, 2006, 27(3): 78-85.
Li Zufu, Chen Shengping, Zhuang Yumou, et al. Studies on artificial propagation and seed breeding technology of *Epinephelus lanceolatus*[J]. Marine Fisheries Research, 2006, 27(3): 78-85.
- [14] 杨薇, 符书源, 郭仁湘, 等. 鞍带石斑鱼人工繁殖技术研究[J]. 现代农业科技, 2011(2): 320-322.
Yang Wei, Fu Shuyuan, Guo Renxiang, et al. Research on artificial propagation technology of *Epinephelus lanceolatus*[J]. Modern Agricultural Sciences & Technology, 2011(2): 320-322.
- [15] 张海发, 王云新, 刘付永忠, 等. 鞍带石斑鱼人工繁殖及胚胎发育研究[J]. 广东海洋大学学报, 2008, 28(4): 36-40.
Zhang Haifa, Wang Yunxin, Liufu Yongzhong, et al. Studies on artificial propagation and embryonic development of *Epinephelus lanceolatus*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2008, 28(4): 36-40.
- [16] 周玲, 翁文明, 李金亮, 等. 鞍带石斑鱼胚胎发育及仔鱼形态发育、饵料转变的观察研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(1): 293-302.
Zhou Ling, Weng Wenming, Li Jinliang, et al. Studies on embryonic development, morphological development and feed changeover of *Epinephelus lanceolatus* larva[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(1): 293-302.
- [17] Dingerkus G, Uhler L D. Enzyme clearing of alcian blue stained whole small vertebrates for demonstration of cartilage[J]. Stain Technol, 1977, 52(4): 229-232.
- [18] Taylor W, Vandyke G. Revised procedure for staining and clearing small fishes and other vertebrates for bone and cartilage study[J]. Cybium International Journal of Ichthyology, 1985, 9(2): 107-119.
- [19] Houde E. Fish early life dynamics and recruitment variability[J]. Am Fish Soc Symp, 1987, 2: 17-29.
- [20] Bailey K M, Houde E D. Predation on eggs and larvae of marine fishes and the recruitment problem[J]. Advances in Marine Biology, 1989, 25(6): 1-83.
- [21] Fuiman L A. Early life history of fish: An energetics approach[J]. Reviews in Fish Biology & Fisheries, 1992, 2(4): 348-349.
- [22] Iguchi K, Mizuno N. Early starvation limits survival in amphidromous fishes[J]. Journal of Fish Biology, 1999, 54(4): 705-712.
- [23] Ranheim G M, Per-Arvid W, Tora B, et al. Allometric growth and development of organs in ballan wrasse (*Labrus bergylta* Ascanius, 1767) larvae in relation to different live prey diets and growth rates[J]. Biology Open, 2016, 5(9): 1241-1251.
- [24] 王雨福, 肖志忠, 刘清华, 等. 斑石鲷早期发育的异速生长模式[J]. 海洋科学, 2016, 40(5): 43-48.
Wang Yufu, Xiao Zhizhong, Liu Qinghua, et al. Allometric growth pattern during early ontogeny of spotted knifejaw (*Oplegnathus punctatus*)[J]. Marine Sciences, 2016, 40(5): 43-48.
- [25] 马境, 章龙珍, 庄平, 等. 施氏鲷仔鱼发育及异速生长模型[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2875-2882.
Ma Jing, Zhang Longzhen, Zhuang Ping, et al. Development and allometric growth patterns of larval *Acipenser schrenckii*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(12): 2875-2882.
- [26] 何滔, 肖志忠, 刘清华, 等. 条石鲷早期发育阶段的生长模式[J]. 水产学报, 2012, 36(8): 1242-1248.
He Tao, Xiao Zhizhong, Liu Qinghua, et al. Allometric growth in rock bream larvae (*Oplegnathus fasciatus* Temminck et Schlegel 1844)[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(8): 1242-1248.
- [27] 吴水清, 李加儿, 区又君, 等. 斜带石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交子代仔、稚鱼的异速生长[J]. 中国水产科学, 2014, 21(3): 503-510.
Wu Shuiqing, Li Jiaer, Ou Youjun, et al. Allometric growth of hybrid grouper (*Epinephelus coioides* ♀×*E. lanceolatus* ♂) larvae and juveniles[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(3): 503-510.
- [28] 单秀娟, 窦硕增. 鲷鱼(*Micthys miuy*)仔、稚鱼发育生长方式及其生态学意义[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(6): 714-719.
Shan Xiujian, Dou Shuozeng. Allometric growth of croaker *Micthys miuy* larvae and juveniles and its

- ecological implication[J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2009, 40(6): 714-719.
- [29] 宋洪建, 刘伟, 王继隆, 等. 大麻哈鱼卵黄囊期仔鱼异速生长及其生态学意义[J]. *水生生物学报*, 2013, 37(2): 329-335.
- Song Hongjian, Liu Wei, Wang Jilong, et al. Allometric growth during yolk-sac larvae of chum salmon (*Oncorhynchus keta* Walbaum) and consequent ecological significance [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(2): 329-335.
- [30] 庄平, 宋超, 章龙珍, 等. 全人工繁殖西伯利亚鲟仔稚鱼发育的异速生长[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(4): 681-687.
- Zhuang Ping, Song Chao, Zhang Longzhen, et al. Allometric growth of artificial bred Siberian sturgeon *Acipenser baeri* larvae and juveniles[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(4): 681-687.
- [31] 何勇凤, 吴兴兵, 朱永久, 等. 鲈鲤仔鱼的异速生长模式[J]. *动物学杂志*, 2013, 48(1): 8-15.
- He Yongfeng, Wu Xingbing, Zhu Yongjiu, et al. Allometric growth pattern of *Percocypris pingipingi* Larvae[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2013, 48(1): 8-15.

Research on skeletal development and allometric growth in larval and juvenile *Epinephelus lanceolatus*

LÜ Xue-jiao^{1, 2, 3}, WANG Yu-nong^{1, 2, 3}, LIU Qing-hua^{1, 2}, ZHAI Jie-ming⁴, LI Jun^{1, 2}

(1. CAS Key Laboratory of Experimental Marine Biology, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory for Marine Biology and Biotechnology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Lai Zhou Ming Bo Aquatic Co., Ltd., Yantai 261418, China)

Received: Mar. 8, 2018

Key words: *Epinephelus lanceolatus*; arva and juvenile; skeletal development; allometric growth

Abstract: Skeletal development is important in fish fry breeding because of its influence on external morphology and functional exercise. In this study, we investigated the characteristics of skeletal development and growth based on the bone staining technique. The results showed that the skeletal components of newly hatched larvae possessed no cartilage or bone elements, and the total length, cranium length, vertebral column length, and caudal fin length increased slowly during the pre-metamorphosis period and the early metamorphosis period (spine growth period). Skeletal development was associated with food ingestion and respiration and ossified preferentially, such as in the jaw and gill. Moreover, allometric growth occurred during the early developmental period in the cranium, spine, and caudal fins, and the cranium and the caudal fin complex showed positive allometric growth during the pre-metamorphosis period and the early metamorphosis period (spine growth period), whereas the vertebral column exhibited negative allometric growth. The cranium also showed negative allometric growth during the late metamorphosis period (spine degradation period) and the post-metamorphosis period, whereas the vertebral column and the caudal fin complex showed approximately isomeric growth. The timing and progression of the development of the cranium, vertebral column, and caudal fin complex significantly correlated with the functional requirement of food ingestion, respiration, and swimming capacity.

(本文编辑: 谭雪静)