

斑石鲷早期发育的异速生长模式

王雨福^{1,2,3}, 肖志忠^{1,3}, 刘清华^{1,3}, 翟介明⁴, 庞尊方⁴, 马文辉⁴, 马道远^{1,3},
徐世宏^{1,3}, 肖永双^{1,3}, 李 军^{1,3}

(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. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 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; 4. 莱州明波水产有限公司, 山东 烟台 261418)

摘要: 为研究斑石鲷(*Oplegnathus punctatus*)早期发育阶段的生长规律及重要器官的异速生长模式, 作者运用实验生态学方法, 测定了斑石鲷仔稚幼鱼(0~70日龄)全长和体质量随日龄的变化规律。结果显示, 全长、体质量与日龄的关系均符合 Cubic 函数, 随日龄的生长曲线表现为 S 型。斑石鲷全长和体质量的生长可分为 3 个阶段, 不同阶段的生长率存在显著差异($P < 0.05$)。斑石鲷的头长、眼径、吻长、口裂、体高、尾鳍长等重要外部形态学指标均存在异速生长规律, 其生长拐点依次为 35 日龄(全长 20.32 mm)、22 日龄(全长 13.17 mm)、29 日龄(全长 16.63 mm)、30 日龄(全长 15.50 mm)、32 日龄(全长 19.79 mm)、32 日龄(全长 19.79 mm)。相对于全长, 头长、吻长、口裂在拐点前后由正异速生长变为等速生长; 眼径、尾鳍由正异速生长转为负异速生长; 而体高在 0~70 日龄为正异速生长, 但拐点之后已明显变缓。研究表明斑石鲷通过异速生长, 确保与其基本生存能力相关的功能器官优先发育, 以适应复杂多变的生存环境, 并相应地提高了仔稚鱼的存活率, 对鱼苗培育具有重要的指导意义。

关键词: 斑石鲷(*Oplegnathus punctatus*); 早期发育; 功能器官; 异速生长

中图分类号: Q954.3 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2016)05-0043-06

doi: 10.11759/hyxx20141216005

异速生长(allometric growth)最早是由生物学家 Huxley^[1]等在研究招潮蟹(*Uca pugnax*)的钳大小随蟹身体变化时提出的, 指生物体在成长过程中, 其各部分器官相对于整体的生长速率表现出不同步的现象。异速生长律通常以幂函数 $Y=aX^b$ 表示, Y 为被研究对象的属性值(如待测器官的大小), X 是生物的个体大小(通常以重量和长度来表示), a 与 b 为常数^[2-3], 该函数式可以用来描述某器官大小相对于整体的变化情况^[4]。

异速生长是生物界普遍存在的现象, 在鱼类早期生长阶段, 由于个体发育的生理、环境因素(水温、光照、盐度、饵料等)的影响, 仔稚幼鱼各器官(眼、口、体高、尾鳍等)的生长并不同步, 如西伯利亚鲟(*Acipenser baeri*)^[5], 施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)^[6], 海马(*Hippocampus puskuda*)^[7], 鲩(*Miichthys miuy*)^[8] 和 条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)^[9]等。在早期发育过程中, 仔稚幼鱼的功能器官相对于整体的生长速度要快, 直至相应功能完善后, 其生长才会减缓或等速于整体生长。从生态功能适应性上讲, 异速生长确保不同发育阶段中最重要的器官优先生长^[10], 这提高了仔鱼的成活率和种群的繁衍能力。因此, 对鱼类早期生长模式的研究可以了解其生活史, 并人为创造相应条件, 促进相应器官的发育, 降低死亡率和畸形率。

斑石鲷(*Oplegnathus punctatus*), 属鲈形目(Perciformes)、石鲷科(Oplegnathidae)、石鲷属(*Oplegnathus*), 俗称黑金鼓、斑鲷, 是分布在中国、日本沿岸海域的温带鱼类, 是目前新兴的水产品种。本实验对斑石鲷仔稚幼鱼的异速生长情况进行了较为系统的研究, 探讨了其早期的生长特性及生态学意义, 并为斑石鲷规模化苗种繁育及养殖提供相应的科学依据和基础理论指导。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本实验所用鱼苗取自莱州明波水产有限公司。

收稿日期: 2014-12-16; 修回日期: 2015-02-06

基金项目: 山东半岛重要海产品良种生态养殖与高值化产业链示范资助项目(KFJ-EW-STS-060); 山东省科技发展计划资助项目(2014GHY115019); 鳌山科技创新计划(No. 2015ASKJ02, 2015ASKJ02-03-03)

[Foundation: Chinese Academy of Science and Technology Service Network Planning (No. KFJ-EW-STS-060); The Science Technology Program of Shandong Province(No. 2014GHY115019); The Scientific and Technological Innovation Project Financially Supported by Qingdao Laboratory for Marine Science and Technology (No. 2015ASKJ02, 2015ASKJ02-03-03)]

作者简介: 王雨福(1986-), 男, 山东临沂人, 硕士研究生; 主要从事海水鱼类遗传发育研究; E-mail: wangyufu1989@163.com; 李军, 通信作者, E-mail: junli@qdio.ac.cn; 肖志忠, 通信作者, E-mail: xzz@qdio.ac.cn

斑石鲷亲鱼经人工诱导性腺发育成熟并自然产卵受精, 收集悬浮受精卵后进行孵化。孵出鱼苗培育条件为水温(22±1)℃, 海水盐度 29±0.5, 日换水 1/2, 持续充气。以孵化当天为 0 日龄, 3~17 日龄仔鱼投喂轮虫(*Brachionus plicatilis*), 15~32 日龄增投卤虫(*Artemia sinica*), 30 日龄开始进行饲料驯化。

1.2 实验方法

实验设 3 个平行组, 取样期间从 0 日龄开始, 每天从各实验池随机取样 10 尾仔、稚幼鱼, MS-222 麻醉, 用体视镜(江南 XTL-1 型)观察仔鱼的早期形态发育, 以光学显微镜(Olympus SZX16)和游标卡尺(S-H)测定其全长、头长、眼径、口裂、吻长、体高、尾鳍长(mm), 并用电子天平测定仔鱼的体质量(g)。

1.3 数据分析

用 SPSS16.0 软件进行数理统计, 分析全长-日龄、体质量-日龄以及各功能器官相对全长的生长关系, 并以 R^2 值最大的函数关系式作为最佳拟合生长模式。

异速生长以幂函数即异速生长方程 $y=ax^b$ 表示, 自变量 x 为全长, y 为相应的各器官长度, a 为截距, b

为异速生长指数。 $b>1$, 待测器官相对于全长为正异速生长; $b<1$, 待测器官相对于全长成负异速生长; $b=1$ 待测器官与全长等速生长。异速生长模型中若存在不同的生长阶段, 以拐点分开, 不同阶段用不同的异速方程表示: $y=a_1x^{b_1}$, $y=a_2x^{b_2}$ 。对 b_1 、 b_2 是否存在显著差异做 t 检验, 并对 b_1 、 b_2 是否等于 1 做 t 检验。用 SPSS16.0 软件中的 Nonlinear Regression 过程, 并结合 OriginPro9.2 软件中的 Nonlinear Curve Fit 进行分段拟合, 以相关指数 R^2 最大及残差平方和最小作为曲线拟合标准, 求得拐点值。用 SPSS16.0 统计软件进行显著性检验, $P<0.05$ 表示具有显著性差异, 描述统计量用平均值±标准差表示, 并用 Origin9.2 软件作图。

2 结果

2.1 全长与体质量的生长变化

2.1.1 全长与日龄的函数关系

以 SPSS16.0 软件中的 Curve Estimation 对全长与日龄的关系进行模型分析与参数估计(表 1), 选取 R^2 值最大(0.994)的 Cubic 函数作为最佳模型, 其关系式为 $Y=0.036X^2-0.486X+5.932$ 。

表 1 全长与日龄的模型分析及参数估计

Tab. 1 Model summary and parameter estimates (total length and days)

函数	模型汇总					参数估计			
	R^2	F 值	第一自由度	第二自由度	显著性值	常数	参数 1	参数 2	参数 3
线性	0.947	1.216E3	1	68	0.000	-8.681	1.056		
对数	0.633	117.096	1	68	0.000	-34.735	19.297		
反函数	0.160	12.982	1	68	0.001	33.242	-64.461		
二次方	0.990	3.214E3	2	67	0.000	1.882	0.175	0.012	
立方	0.994	3.523E3	3	66	0.000	5.932	-0.486	0.036	0.000
复合	0.966	1.934E3	1	68	0.000	3.640	1.048		
幂函数	0.825	321.252	1	68	0.000	0.783	0.975		
S 型	0.283	26.830	1	68	0.000	3.228	-3.790		
增长型	0.966	1.934E3	1	68	0.000	1.292	0.047		
指数	0.966	1.934E3	1	68	0.000	3.640	0.047		
Logistic 型	0.966	1.934E3	1	68	0.000	0.275	0.954		

斑石鲷初孵仔鱼(0 日龄)全长为 3.49 mm±0.12 mm, 经过 70 d 的生长, 其全长达到 71.35 mm±3.02 mm。分析发现, 全长随日龄的变化分为生长速率明显不同的 3 个阶段。如图 1 所示, 0~21 日龄的全长生长速率为 0.155 mm/d, 21~35 日龄的全长生长速率为

0.794 mm/d, 35~70 日龄的全长生长率为 1.455 mm/d, 3 个阶段的全长生长率具有显著差异($P<0.05$)。

2.1.2 体质量与日龄的函数关系

以 SPSS16.0 软件中的 Curve Estimation 对体质量与日龄的关系进行模型分析与参数估计(表 2), 选

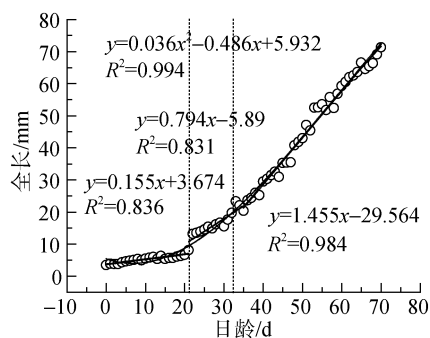


图 1 全长与日龄的最佳拟合曲线(Cubic)

Fig. 1 Best-fit curves between total length and days

表 2 体质量与日龄的模型分析及参数估计

Tab. 2 Model summary and parameter estimates (body weight and days)

函数	模型汇总					参数估计			
	R^2	F 值	第一自由度	第二自由度	显著性值	常数	参数 1	参数 2	参数 3
线性	0.932	520.602	1	38	0.000	-8.180	0.221		
对数	0.873	262.270	1	38	0.000	-37.528	10.404		
反函数	0.796	148.410	1	38	0.000	12.642	-460.691		
平方	0.980	1.202E3	2	37	0.000	4.166	-0.295	0.005	
立方	0.982	1.025E3	2	37	0.000	0.006	-0.038	0.000	3.281E-5
复合	0.954	786.030	1	38	0.000	0.005	1.119		
幂	0.976	1.550E3	1	38	0.000	7.505E-10	5.510		
S 型	0.973	1.373E3	1	38	0.000	5.791	-255.136		
增长型	0.954	786.030	1	38	0.000	-5.215	0.112		
指数	0.954	786.030	1	38	0.000	0.005	0.112		
Logistic 型	0.954	786.030	1	38	0.000	184.029	0.894		

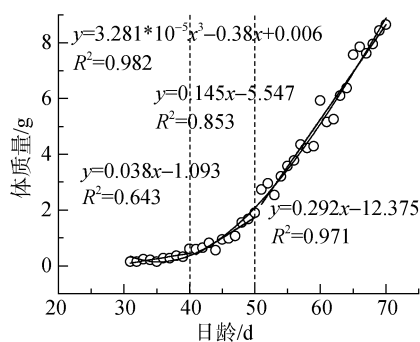


图 2 体质量与日龄的最佳拟合曲线(Cubic)

Fig. 2 Best-fit curves between body weight and days

2.2 各功能器官参数与全长的异速生长关系

如图 3a 所示, 全长为 20.32 mm, 35 日龄时为头长的生长的拐点。35 日龄之前, $b_1=1.147$, 相对全长呈现正异速生长; 35 日龄之后, $b_2=1.028$, 与 1 差异不显著($P>0.05$), 相对全长呈现等速生长。

取 R^2 值最大(0.994)的 Cubic 函数作为最佳模型, 其关系式为 $Y=3.281 \times 10^{-5} X^3 - 0.38X + 0.006$ 。

实验中, 称量了斑石鲷后期稚鱼到幼鱼的体质量(31d~70 d), 经过 70 d 的生长, 在 70 d 时体质量达到 8.01 g。体质量随日龄的变化分为生长速率显著不同 3 个阶段。如图 2 所示, 31~40 日龄的体质量生长率为 0.038 g/d; 40~50 日龄的体质量生长率为 0.145 g/d; 50~70 日龄的体质量生长率为 0.292 g/d, 3 个阶段的体质量生长率具有显著性差异($P<0.05$)。

如图 3b 所示, 全长为 13.17mm, 即 22 日龄时为眼径的生长拐点。22 日龄之前, $b_1=1.059$, 相对全长呈现正异速生长; 22 日龄之后, $b_2=0.846$, 相对全长呈现负异速生长。

如图 3c 所示, 全长为 16.63mm, 即 29 日龄时为吻长的生长拐点。29 日龄之前 $b_1=1.328$, 相对全长为正异速生长; 29 日龄之后, $b_2=0.997$, 与 1 差异不显著($P>0.05$), 相对全长呈现出等速生长模式。

如图 3d 所示, 全长为 15.50mm, 即 30 日龄时为口裂的生长拐点。30 日龄之前 $b_1=1.062$, 相对全长为正异速生长; 30 日龄之后, $b_2=0.992$, 与 1 差异不显著($P>0.05$), 相对全长呈现出等速生长模式。

如图 3e 所示, 全长为 19.79mm, 即 32 日龄时为体高的生长拐点。32 日龄之前 $b_1=1.508$, 为正异速生长; 32 日龄之后, $b_2=1.213$, 仍为正异速生长, 但相对于 32 日龄之前已经明显变慢。

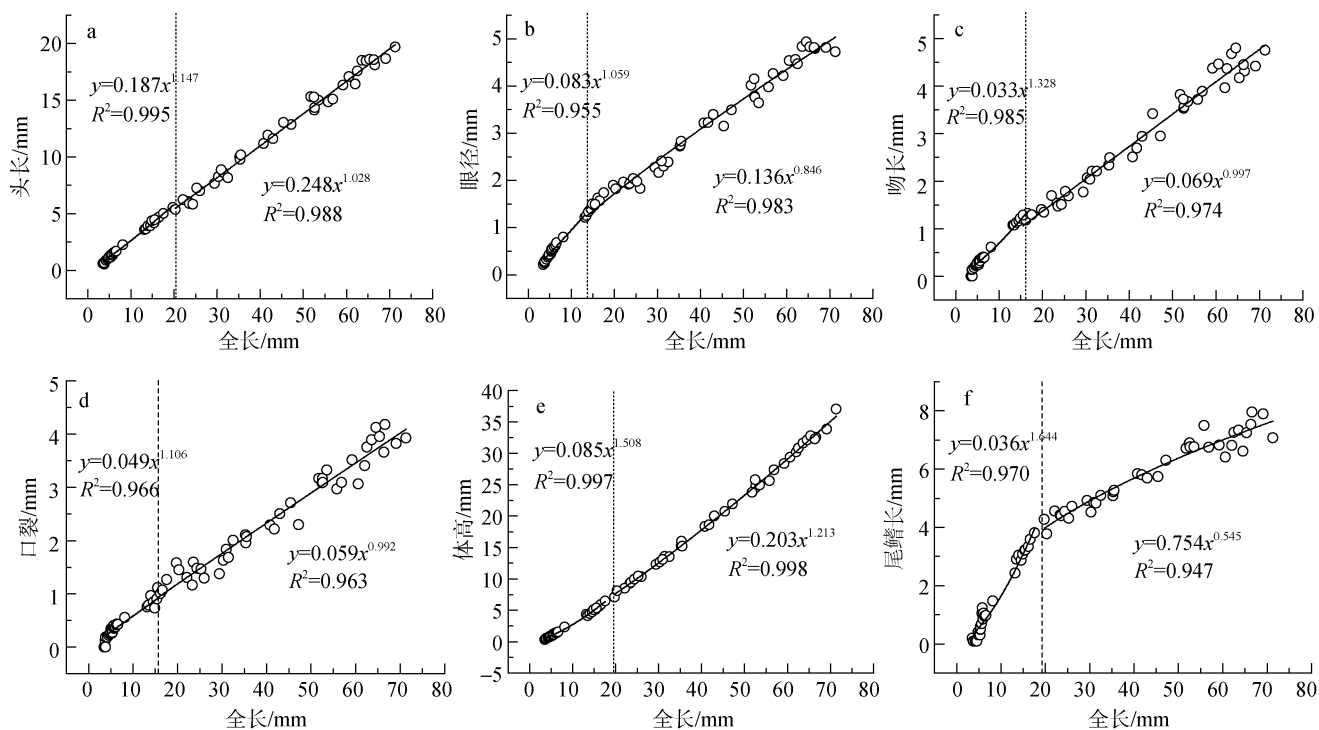


图3 斑石鲷各功能器官与全长的异速生长关系

Fig. 3 Allometric growth of selected organs related to the total length of the spotted knifejaw

如图 3f 所示, 全长为 19.79mm, 即 32 日龄时为尾鳍的生长拐点。32 日龄之前, $b_1=1.644$, 相对全长呈现正异速生长; 32 日龄之后, $b_2=0.545$, 相对全长呈现负异速生长。

3 讨论

鱼类在早期发育过程, 饥饿和被捕食是影响仔稚鱼成活率的重要原因^[11-14]。因此, 在长期进化过程中, 初孵仔鱼营浮游生活之后, 对生存起首要作用的摄食、消化及游泳器官进入迅速生长阶段。当影响仔稚鱼成活的重要器官功能指标完善后, 又开始转为负异速或者等速生长阶段^[15-17]。在养殖过程中发现, 和其他硬骨鱼类一样, 与斑石鲷摄食、游泳等密切相关的功能器官均表现出异速生长的模式。

3.1 全长与体质量的生长变化

3.1.1 全长与日龄的生长关系

本实验中, 斑石鲷仔稚鱼全长与日龄的关系表现为 Cubic 函数形式, 生长曲线为 S 型(图 1)。0~21 日龄之间, 由于仔稚鱼主要以小轮虫为营养来源, 其视觉、游泳及摄食消化器官还未完善, 因此维持在很低的生长速度 0.155 mm/d。21~35 日龄, 影响斑石鲷生存的重要器官如口、视觉、鳍等已完成优先发育, 并

处在功能逐步完善阶段, 捕食及游泳和躲避自残的能力均大幅提高, 故而生长速率提高到 0.794 mm/d。35 日龄之后, 各项器官的功能指标已完善, 在 33 日龄左右完成饲料驯化, 斑石鲷以较高的生长速度 1.455 mm/d, 进入幼鱼的快速生长阶段。

3.1.2 体质量与日龄的生长关系

本实验中, 与全长类似, 斑石鲷的体质量随日龄的变化也呈现出 Cubic 函数关系(图 2)。在 30~40 日龄之间, 斑石鲷仔稚鱼处于各功能器官的完善与适应阶段, 体质量增长很慢。40~50 日龄, 由于各器官已完成优先发育, 仔稚鱼的捕食游泳能力大幅提高, 体质量开始增加明显。50 日龄之后, 随着饲料的追加和定期分苗, 斑石鲷进入了丰度增强期, 体质量快速增加。

3.2 各功能器官与全长的异速生长关系

3.2.1 头长

斑石鲷仔稚鱼的头长相对于全长具有异速生长的特性, 拐点为 35 日龄, 和条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)(38 日龄)^[9]类似, 这是由于它们的外形比较接近产生的。头部作为生物最重要的视觉、感觉信息的处理中心, 也是摄食、呼吸器官赖以发育的基础, 其结构的完善与否对物种的生存能力有着极为重要的影响。斑石鲷头部在短时间内的快速生长, 为眼、

口、咽等器官的生长提供相应的结构基础。

3.2.2 吻长、口裂

吻长和口裂是影响鱼类摄食和吞咽食物颗粒的重要因素,在斑石鲟中它们的生长拐点比较接近,为29~30日龄,之后转为等速生长。这和条石鲟(31日龄)^[9]比较接近,但是比施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)(8~9日龄)^[6]、西伯利亚鲟(*Acipenser baeri*)(17~18日龄)^[5]等要晚。由于西伯利亚鲟鱼在14日龄左右,其口部结构发育状态已基本适应人工饲料的投喂,而斑石鲟在32日龄之前主要以轮虫、卤虫作为营养来源,30日龄左右开始进行饲料驯化,故而斑石鲟的口部有着相对较长的生长期。口裂、吻长的生长拐点值为29~30日龄,确保在进行投喂饲料之前,摄食器官已完备相应的结构和功能^[18]。

3.2.3 体高

斑石鲟体高在70日龄之前,相对于全长均表现为正异速生长的模式,不同于条石鲟^[9]的是32日龄之后虽然仍为正异速生长,但已经显著低于32日龄之前。这可能是种属差异及宽扁的体型特征所决定的。此外,体高在较长时间内充分增加,为斑石鲟腹部内脏器官的生长发育提供了结构基础,也可能为背部肌肉的生长提供相应的结构基础。

3.2.4 眼径

自然生存状态下,食物资源的竞争、躲避天敌及自残的能力是影响仔稚鱼成活的关键因素,而这些与视觉器官(眼睛)的发育状况有重要的联系。斑石鲟仔鱼眼径的生长拐点为22日龄,此后转为负异速生长。眼径的生长拐点类似于条石鲟^[9]、鲢(*Miichthys miiuy*)^[8]、鲈鲤(*Percocypris pingi*)^[19],说明它们在早期发育过程中,对视觉器官的优先程度是基本一致的。视觉器官结构和功能在短时间内的快速完善,对于仔稚鱼迅速捕获食物、争夺饲料、躲避敌害有重要作用。

3.2.5 尾鳍

尾鳍是鱼类早期发育阶段最为重要的游泳器官,为幼鱼游动提供前行动力和方向,对于鱼类竞争食物资源,躲避种内自残等生存能力有重要影响作用^[20]。斑石鲟尾鳍的生长拐点为32日龄,尾鳍的优先发育时间要明显长于条石鲟(15日龄)。这可能与条石鲟存在严重的自残行为,故而要保持较短(15日龄)时间内实现尾鳍的迅速发育,以期躲避种群的自残和对食物资源的快速争夺。而斑石鲟温和的特性,可以使得其运动器官在较长时间内(32日龄)实现发育。然而随着鳔的充气(16日龄左右)、臀鳍、腹鳍、胸鳍等游泳器官的完善,降低了对尾鳍的依赖程度,

尾鳍的生长在后期明显变慢。

通过对斑石鲟仔稚幼鱼的早期生长发育研究,发现它与其他硬骨鱼类类似,多数器官也存在异速生长的现象。仔鱼孵化后,影响仔稚幼鱼存活的重要功能器官能在短时间内优先发育,是物种为适应复杂多变的自然生存环境,提高种群成活率而长期进化的结果。本研究表明,在苗种培育过程中,可以根据斑石鲟早期生长发育的特点,人为创造有利条件,优化饲料配比和投喂策略,确保鱼苗的成活率。

参考文献:

- [1] Huxley J S, Tessier G. Terminology of relative growth[J]. *Nature*, 1936, 137: 780-781.
- [2] Peters R H. The ecological implications of body size[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.
- [3] O'connell C P. Development of organ systems in the northern anchovy, *Engraulis mordax*, and other teleosts[J]. *American Zoology*, 1981, 21(2): 429-446.
- [4] 韩文轩, 方精云. 幂指数异速生长机制模型综述[J]. *植物生态学报*, 2008, 32(4): 951-960.
Han Wenxuan, Fang Jingyun. Review on the mechanism models of allometric scaling laws: 3/4 vs. 2/3 power[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(4): 951-960.
- [5] 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.
- [6] 马境, 章龙珍, 庄平, 等. 施氏鲟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.
- [7] Choo C K, Liew H C. Morphological development and allometric growth patterns in the juvenile seahorse *Hippocampus puskuda* Bleeker[J]. *Journal of Fish Biology*, 2006, 69(2): 426-445.
- [8] 单秀娟, 窦硕增. 鲢鱼(*Miichthys miiuy*)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 *Miichthys miiuy* larvae and juveniles and its ecological implication[J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2009, 40(6): 714-719.
- [9] 何滔, 肖志忠, 刘清华, 等. 条石鲟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.
- [10] Rodriguez A, Gisbert E. Eye development and the role of vision during *Siberian sturgeon* early ontogeny[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2002, 18(4): 280-285.
- [11] Houde E D. Fish early life dynamics and recruitment variability[J]. American Fisheries Society Symposium, 1987, 2: 17-29.
- [12] 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: 1-83.
- [13] Kamler E. Early Life History of fish: an energetics approach [M]. London: Chapman and Hall, 1992: 267.
- [14] Iguchi K, Mizuno N. Early starvation limits survival in amphidromous fishes[J]. Journal of Fish Biology, 1999, 54(1): 705-712.
- [15] Sink G M J, Boogaart J G M, Osse J W M. Larval growth patterns in *Cyprinus carpio* and *Clarias gariepinus* with attention to the fin fold[J]. Journal of Fish Biology, 1997, 50(6): 1339-1352.
- [16] Herbing I H. Development of feeding structures in larval fish with different life histories: winter flounder and Atlantic cod [J]. Journal of Fish Biology, 2001, 59(4): 767-782.
- [17] 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 chun salmon(*Oncorhynchus keta*) and consequent ecological significance[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(2): 329-335.
- [18] Gisbert E. Early development and allometric growth patterns in *Siberian sturgeon* and their ecological significance[J]. J Fish Biol, 1999, 54(4): 852-862.
- [19] 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 pingi* larvae[J]. Chinese Journal of Zoology, 2013, 48 (1): 8-15.
- [20] 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.

Allometric growth pattern during early ontogeny of spotted knifejaw (*Oplegnathus punctatus*)

WANG Yu-fu^{1,2,3}, XIAO Zhi-zhong^{1,3}, LIU Qing-hua^{1,3}, ZHAI Jie-ming⁴, PANG Zun-fang⁴, MA Wen-hui⁴, MA Dao-yuan^{1,3}, XU Shi-hong^{1,3}, XIAO Yong-shuang^{1,3}, LI Jun^{1,3}

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

Received: Dec. 16, 2014

Key words: Spotted knifejaw (*Oplegnathus punctatus*); early ontogeny; functional organs; allometry

Abstract: Early ontogenesis of spotted knifejaw (*Oplegnathus punctatus*) was investigated using morphology and morphometrics to study the allometric growth pattern. Spotted knifejaw were reared at (24 ± 0.3)°C from hatching to 70 days post-hatching (d), and total length, body weight, and allometric growth of important organs were determined. Therefore, the increases in the total length and body weight were consistent with the cubic function and displayed an S-curve with three distinct stages. Allometric growth patterns were detected between different organs (head, mouth, eyes, and fins) and total length and featured inflection points. The growth characteristics of the head length (with an inflection point at 35 d), rostrum length (29 d), and mouth width (30 d) changed from positive allometry to isometry around the inflection points, whereas eye diameter (22 d) and tail fin length (32 d) changed from positive to negative allometry. Body height (32 d) maintained positive allometric growth during 0–70 d, with a distinctly lower growth rate after the reflection point than that before. These results indicate that the spotted knifejaw develop the most important organs using an allometric strategy primarily to adjust themselves to the surroundings and achieve a higher survival rate.

(本文编辑: 谭雪静)