

鲈鲤仔鱼的异速生长模式

何勇凤^① 吴兴兵^① 朱永久^① 杨德国^{①*} 詹会祥^②

^① 中国水产科学研究院长江水产研究所 农业部淡水生物多样性保护重点实验室 武汉 430223;

^② 毕节地区水产技术推广站 毕节 551700

摘要: 采用实验生态学方法研究了鲈鲤(*Percocypris pingi pingi*)仔鱼(0~57日龄)的异速生长模式。结果显示,鲈鲤仔鱼全长由慢速生长到快速生长的转折点为25日龄;其多数外部器官均具有异速生长特点,头部和尾部的生长快于躯干部,均在22~27日龄出现生长拐点;眼径在14~15日龄较早出现生长拐点,促使眼睛充分发育,以提高早期仔鱼开口期摄食外源食物的能力;吻长在33~34日龄出现生长拐点,促进了口的充分发育,以适应不同的饵料环境;胸鳍、背鳍、尾鳍、臀鳍和腹鳍分别在13~14日龄、31~32日龄、32~33日龄、38~39日龄、43~44日龄出现生长拐点,除胸鳍和尾鳍外,其余各鳍的鳍条均在拐点处分化完全,即鲈鲤仔鱼的游泳能力已得到大幅提高。研究表明,鲈鲤仔鱼的异速生长模式,保证了各重要功能器官的充分发育,以适应多变的环境,有效地保障了其早期的生存,可为育苗生产和野生早期资源的保护提供技术支撑。

关键词: 鲈鲤;异速生长;仔鱼

中图分类号:Q958 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2013)01-08-08

Allometric Growth Pattern of *Percocypris pingi pingi* Larvae

HE Yong-Feng^① WU Xing-Bing^① ZHU Yong-Jiu^① YANG De-Guo^{①*} ZHAN Hui-Xiang^②

^①Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation, Ministry of Agriculture of China, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223;

^②The Fishery Technology Extension Station in Bijie District, Bijie 551700, China

Abstract: Allometric growth pattern of *Percocypris pingi pingi* larvae were studied in the laboratory from the day hatched to 57 days. The total length growth rate of larvae changed from slow to fast at the inflexion point of 25 days after hatching (d). Most organisms of larvae exhibited an allometric growth pattern. The growth of head and tail was faster than trunk, and the inflexion point of growth coefficient was at 22–27 d. The inflexion point of growth coefficient of eye diameter occurred at 14–15 d that was earlier than any other organism growth. The inflexion point of growth coefficient of snout length, appeared at 33–34 d; the inflexion point was at 13–14 d, 31–32 d, 32–33 d, 38–39 d and 43–44 d for pectoral fin, dorsal fin, tail fin, anal fin and ventral fin, respectively. Except for pectoral fin and tail fin, the other fins were highly developed at the inflexion point. In the days after hatching at inflexion point of fins, the swimming of larvae was highly improved. The allometric growth pattern of larvae ensured a quickly development of those organisms which have important function to adapt to the complex environment and increase their survival rate. These results may be useful in cultivating fish fry practice and preserving wild resources.

Key words: *Percocypris pingi pingi*; Allometric growth; Larvae

基金项目 中国长江三峡集团公司项目(No. TGT-JTT/FW201006D);

* 通讯作者, E-mail: yangdg@yfi.ac.cn;

第一作者介绍 何勇凤,女,博士,助理研究员;研究方向:鱼类生态学;E-mail: yongfeng83@gmail.com。

收稿日期:2012-06-20,修回日期:2012-09-15

异速生长 (allometric growth), 又称相对生长 (relative growth), 是指身体的不同部分存在不同的生长速率 (韩文轩等 2008), 是众多生物学家关注和研究的热点。由 Huxley 于 1932 年首次提出的异速生长方程 $y = ax^b$ (y 为因变量, x 为自变量, a 为截距, b 为异速生长指数), 是目前进行个体异速生长研究中使用最普遍的方法 (Huxley 1932, Katsanevakis et al. 2007)。鱼类在早期发育过程中, 受生理和环境因素影响, 仔鱼各功能器官的发育通常表现出不同步性 (马境等 2007, 单秀娟等 2009)。诸多研究表明, 这种早期发育阶段的异速生长现象普遍存在于硬骨鱼类中。通常认为这种现象是对抗环境压力的一种适应性反应, 主要表现为一些具有重要功能如摄食、呼吸和运动的器官优先发育, 以提高成活率, 而对于不影响生存的器官则延后发育 (Osse et al. 1995, Gisbert 1999, Huysentruyt et al. 2009, Peña et al. 2009)。

鲈鲤 (*Percocypris pingi pingi*) 隶属于鲤形目鲤亚科鲈鲤属, 主要分布于长江上游干支流中, 是长江上游的特有鱼类, 也是四川省、重庆市的重点保护动物 (丁瑞华 1994, 何勇凤 2010)。鲈鲤初次性成熟年龄为 3~4 龄, 繁殖季节在 5~6 月份, 喜急流中产卵, 是一种行动迅速的肉食性鱼类, 幼鱼主要以甲壳动物和昆虫幼虫为食, 成鱼主要以 一类和其他鱼类的幼鱼等为食, 肉质细嫩、味道鲜美, 是产区的重要经济鱼类 (丁瑞华 1994)。目前, 关于鲈鲤的研究相对较少, 仅有形态、分类、分布、养殖技术、营养与消化、鱼病防治等方面的少量报道 (崔桂华等 1990, 耿毅等 2006, 韦先超等 2006, 刘必生等 2011, 马秀慧等 2011), 对其早期生长与发育方面尚无相关报道。

本文以人工繁殖孵化的鲈鲤仔鱼为材料, 对其仔鱼时期的异速生长特点进行系统的研究, 旨在探讨其不同功能器官发育的优先性及其生态学意义, 了解其早期发育与环境相适应的特点, 为生产实践和资源保护提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料 2011 年 7 月人工繁殖的鲈鲤子一代受精卵, 在实验室进行孵化, 水温为 $(18 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 。选取同一时期 (2011 年 8 月 2 日) 出膜的仔鱼用于实验。

1.2 实验方法 实验期间, 初孵仔鱼在方形塑料养殖桶中进行培育, 水温维持在 $(22 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, 开口饵料为人工孵化的卤虫 (*Artemia*) 无节幼体, 24 日龄后投喂冰冻红虫 (即为摇蚊幼虫类, 隶属于摇蚊科 Chironomidae)。仔鱼出膜当天为 0 日龄, 从出膜开始, 每天固定时间取样 10~20 尾, 直至 57 日龄结束, 此时大部分样本由于身患水霉病而死亡, 剩余样本已不足以继续进行实验。样本采用 100 mg/L 的 MS-222 麻醉后在 Olympus 显微镜下利用 Canon 相机 EOS Utility 软件对其进行观察和拍照, 拍照结束后将仔鱼放回清水中苏醒并继续进行饲养。按照我国学者常用的划分鱼类早期生活史阶段的方法 (殷名称 1991, 曹文宣等 2007), 经观察对照, 本文涉及的鲈鲤 0~57 日龄样本历经了卵黄囊仔鱼和晚期仔鱼 2 个阶段, 本文中统一以仔鱼表示不同发育时期。

利用 TpsDig2.04 软件测量仔鱼照片中的可量性状 (Rohlf 2005), 精确至 0.01mm。性状指标包括全长 (total length, TL)、头长 (head length, HL)、吻长 (snout length, SnL)、眼径 (eye diameter, ED)、肛前长 (pre-anal length, PrAL)、肛后长 (post-anal length, PoAL)、胸鳍长 (pectoral fin length, PFL)、腹鳍长 (ventral fin length, VFL)、臀鳍长 (anal fin length, AFL)、背鳍长 (dorsal fin length, DFL) 和尾鳍长 (tail fin length, TFL) 11 个 (图 1)。不同阶段, 各长度的测量方法依据曹文宣等 (2007) 描述的方法进行。其中, 胸鳍自 0 日龄出现透明鳍褶时开始测量, 其余各鳍则从它们开始分化出鳍条时开始测量, 各鳍的长度是指各鳍外侧基部起点至最长鳍条末端的直线长度。

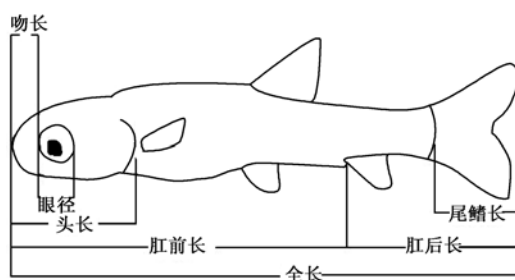


图1 鲈鲤仔鱼各形态特征测量示意图

Fig. 1 Illustration of morphological trait measurements of *Percocypris pingi pingi* larvae

全长. Total length; 头长. Head length; 吻长. Snout length; 眼径. Eye diameter; 肛前长. Pre-anal length; 肛后长. Post-anal length; 尾鳍长. Tail fin length.

1.3 数据分析 全长随日龄的变化关系用 $y = a + bx$ (y 为因变量, x 为自变量, a 为截距, b 为异速生长指数) 拟合 (Choo et al. 2006)。异速生长模型则以幂函数方程, 即异速生长方程 $y = ax^b$ 计算, 式中 y 是因变量 (本研究以全长为因变量), x 为自变量 (即各可量性状), a 为截距, b 为异速生长指数 (Fuiman 1983)。若某一生长性状的 b 值等于 1, 表示该性状相对于全长为等速生长 (isometric growth), 若 b 值小于 1, 表示慢速生长 (negative allometric growth), 若 b 值大于 1, 表示快速生长 (positive allometric growth)。在进行数据分析前, 先对数据进行 \log 转换, 转换后的异速生长方程即为 $\log y = \log a + b \log x$ 。异速生长模型中若含有不同生长阶段, 则以拐点 (inflection point) 分开。根据 R 2. 15. 0 软件中“segmented”分析包对鲈鲤的生长数据进行分段线性回归模型的拟合, 确定生长曲线的拐点和生长指数值 (Ihaka et al. 1996, Muggeo 2008)。利用 Excel 软件中的 t 检验检测不同生长阶段的 b 值是否存在显著性差异, 及其与 1 之间是否有显著性差异。采用 STATISTICA 6. 0 软件对具有不同生长拐点的分段异速生长曲线图进行绘制 (StatSoft 2001)。

2 结果

2.1 全长的生长 刚出膜仔鱼为 0 日龄, 其全

长为 (11.09 ± 0.53) mm, 经过 57 日的生长, 其全长达 (35.34 ± 2.37) mm。图 2 展示的是鲈鲤的全长随日龄的变化曲线, 在 0 ~ 57 日龄期间, 鲈鲤全长的生长可分为 2 个阶段, 0 ~ 25 日龄的生长率为 0.28 mm/d, 25 ~ 57 日龄的生长率为 0.50 mm/d, 不同阶段的生长率显著不同 ($P < 0.001$)。由此可见, 25 日龄前全长的生长较缓慢, 25 日龄后进入快速增长期, 即 25 日龄为鲈鲤全长由慢速生长到快速生长的转折点。

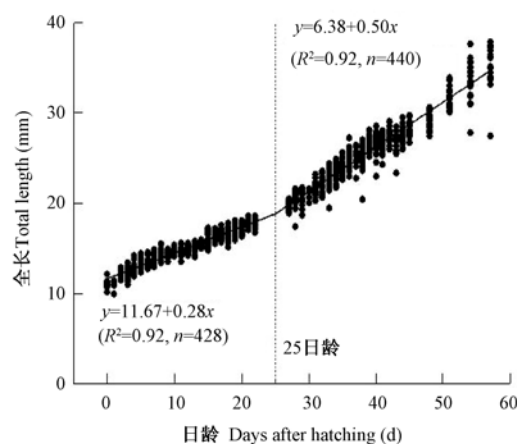


图2 鲈鲤仔鱼全长与日龄的关系

Fig. 2 The relationship between the days after hatching and the total length of *Percocypris pingi pingi* larvae

图中虚线表示拐点处所对应的日龄大小, 其下标注的文字表示拐点处日龄。

The dashed line represents the days after hatching of inflexion point (25 d).

2.2 各功能器官的异速生长

2.2.1 身体各部 以鲈鲤的鳃盖末端和肛门末端为界, 分别以头长、肛前长和肛后长代表身体各部分的生长情况 (图 3)。头长: 在 22 ~ 27 日龄时出现生长拐点, 对应的全长 (TL) 为 18.12 mm, 拐点前头长的生长指数 b 为 2.21, 显著大于 1 ($P < 0.001$), 即拐点前头长呈现快速生长, 拐点后生长指数 b 为 1.05, 与 1 之间无显著性差异 ($P > 0.05$), 即拐点后头长为等速生长。肛前长和肛后长: 均在 22 ~ 27 日龄时出现生长拐点, 对应的全长 (TL) 分别为 18.57

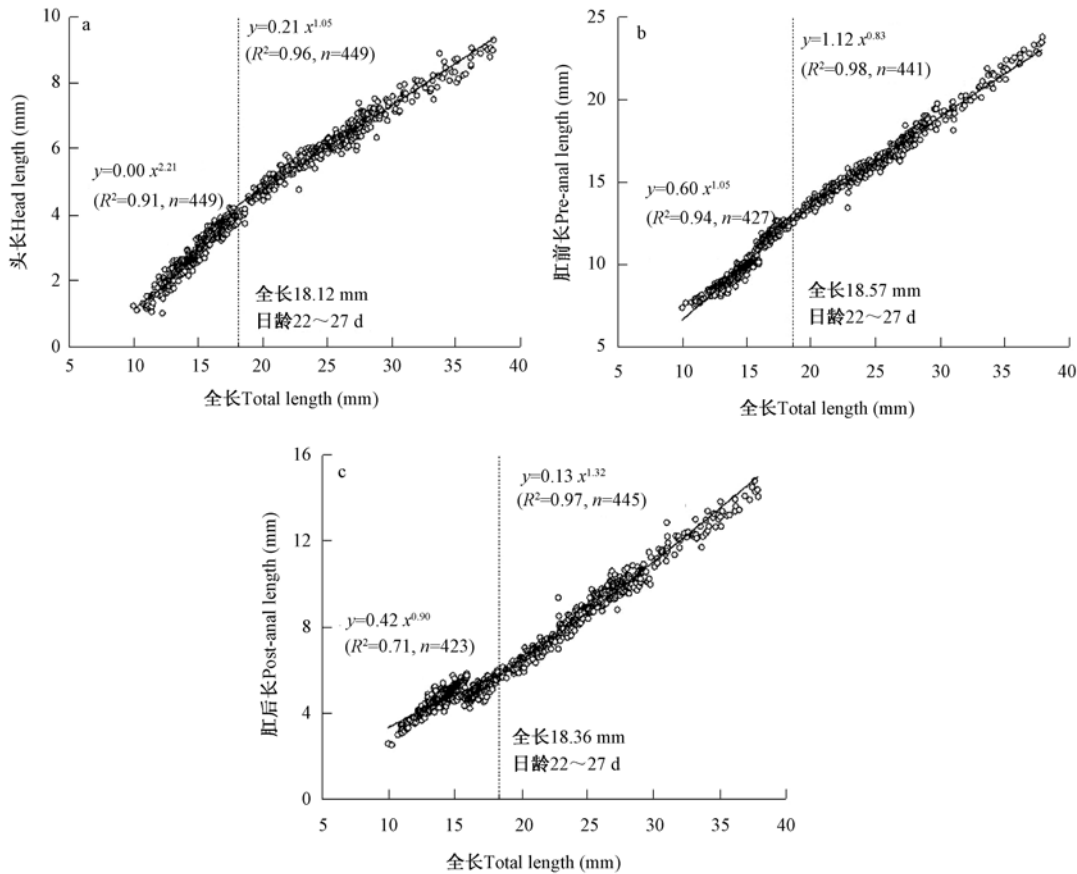


图3 鲈鲤仔鱼头长(a)、肛前长(b)、肛后长(c)的异速生长曲线

Fig. 3 Allometric growth pattern of head length (a), pre-anal length (b), post-anal length (c) as a function of total length in *Percocypris pingi pingi* larvae

图中虚线表示拐点处所对应的全长大小,其下标注的文字表示拐点处全长和日龄大小。

The dashed line represents the days after hatching of inflexion point for head length, pre-anal length and post-anal length (all in 22–27 d).

mm 和 18.36 mm, 拐点前肛前长、肛后长的生长指数 b 分别为 1.05 和 0.90, 与 1 之间差异不显著 ($P > 0.05$), 即拐点前肛前长、肛后长均为等速生长, 拐点后肛前长、肛后长的生长指数 b 分别为 0.83 和 1.32, 与 1 之间具有显著性差异 ($P < 0.01$), 即拐点后肛前长进入慢速生长阶段, 而肛后长则进入快速生长阶段。

2.2.2 头部器官 眼径(图4a): 在 14~15 日龄全长为 15.73 mm 时出现生长拐点, 拐点前生长指数 b 为 1.75, 显著大于 1 ($P < 0.01$), 即眼径在拐点前呈现快速生长, 拐点后生长指数 b 为 0.99, 与 1 之间无显著性差异 ($P > 0.05$),

即眼径在拐点后处于等速生长阶段。吻长(图4b): 在 33~34 日龄出现生长拐点, 对应的全长为 22.98 mm, 拐点前生长指数 b 为 2.19, 显著大于 1 ($P < 0.001$), 即吻长在拐点前处于快速生长阶段, 拐点后生长指数 b 为 1.22, 与 1 差异不显著 ($P > 0.05$), 即吻长在拐点后为等速生长。

2.2.3 运动相关器官 运动相关的器官主要是指胸鳍、腹鳍、臀鳍、背鳍和尾鳍, 其中腹鳍、臀鳍、背鳍和尾鳍分别自 32 日龄、22 日龄、18 日龄和 13 日龄开始分化出鳍条, 它们均在一定程度上表现出异速生长趋势。(1) 胸鳍(图

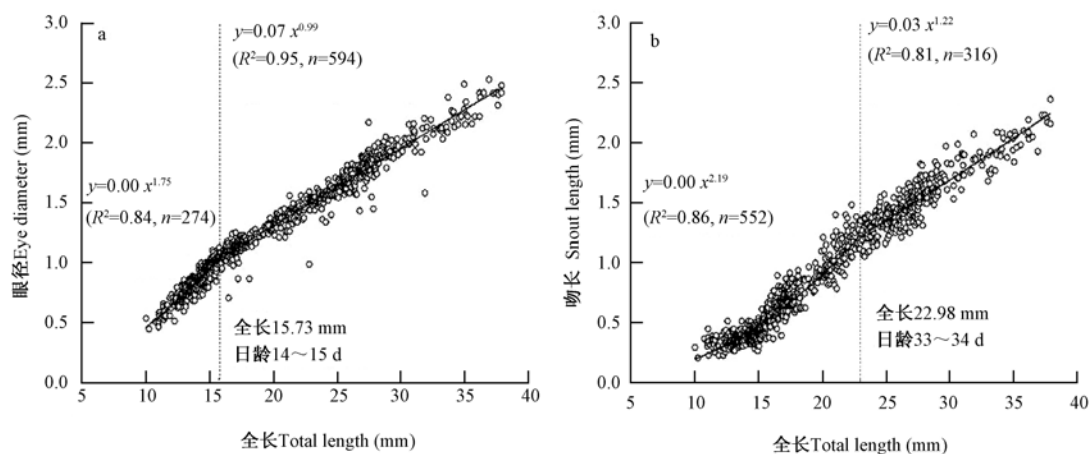


图4 鲈鲤仔鱼眼径(a)和吻长(b)的异速生长曲线

Fig. 4 Allometric growth pattern of eye diameter (a) and snout length (b) as a function of total length in *Percocypris pingi pingi* larvae

图中虚线表示拐点处所对应的全长大小,其下标注的文字表示拐点处全长和日龄大小。

The dashed line represents the days after hatching of inflexion point for eye diameter (14 - 15 d) and snout length (23 - 34 d)

5a):在13~14日龄全长为15.42 mm时出现生长拐点,拐点前、后生长指数 b 分别为4.48和1.45,均显著大于1($P < 0.001, P < 0.01$),即胸鳍在拐点前、后均处于快速生长阶段,但拐点后生长指数明显减小。(2)腹鳍(图5b):在43~44日龄全长为27.62 mm时出现生长拐点,拐点前生长指数 b 为4.57,显著大于1($P < 0.01$),即腹鳍在拐点前为快速生长,拐点后其生长指数 b 为1.55,与1之间无显著性差异($P > 0.05$),即腹鳍在拐点后处于等速生长阶段。(3)臀鳍(图5c):在38~39日龄全长为25.67 mm时出现生长拐点,拐点前后生长指数 b 分别为3.22和1.77,均显著大于1($P < 0.01, P < 0.05$),即臀鳍在拐点前、后均呈现快速生长,但拐点后生长指数明显减小。(4)背鳍(图5d):在31~32日龄全长为21.93 mm时出现生长拐点,拐点前后生长指数 b 分别为4.81和1.57,均显著大于1($P < 0.001, P < 0.05$),即背鳍在拐点前、后均呈现快速生长,但拐点后生长指数明显减小。(5)尾鳍(图5e):在32~33日龄全长为22.47 mm时出现生长拐点,拐点前后生长指数 b 分别为3.31和1.38,均显著大于1($P < 0.001, P < 0.05$),即

尾鳍在拐点前、后均呈现快速生长,但拐点后生长指数明显减小。

3 讨论

本研究发现,鲈鲤仔鱼自2011年8月2日出膜后,绝大部分个体在10日龄处于平游状态,12日龄开口摄食,直至15日龄卵黄全部吸收,即12日龄至15日龄期间为鲈鲤仔鱼的混合营养期,15日龄结束后完全由内源性营养向外源性营养转化。此临界期正是由于饵料保障和仔鱼器官发育的共同作用而构成仔鱼大量死亡的危险期,将会严重影响到鱼类种群丰度的变动,这是鱼类早期生活史阶段影响其存活率的关键时期(殷名称 1991)。

在鱼类早期生活史阶段,仔鱼一些形态特征通常会在孵出后出现快速的异速生长,经历一段时间之后转为等速生长,这种伴随有明显生长拐点的生长模式一般与仔鱼的呼吸、摄食、游泳能力的提高息息相关(Gisbert 1999)。本研究中鲈鲤仔鱼的形态测量特征也表现出了这种异速生长模式,但与鲤(*Cyprinus carpio*)、非洲鲇(*Clarias gariepinus*)以及西伯利亚鲟(*Acipenser baerii*)等的生长模式存在一定的差

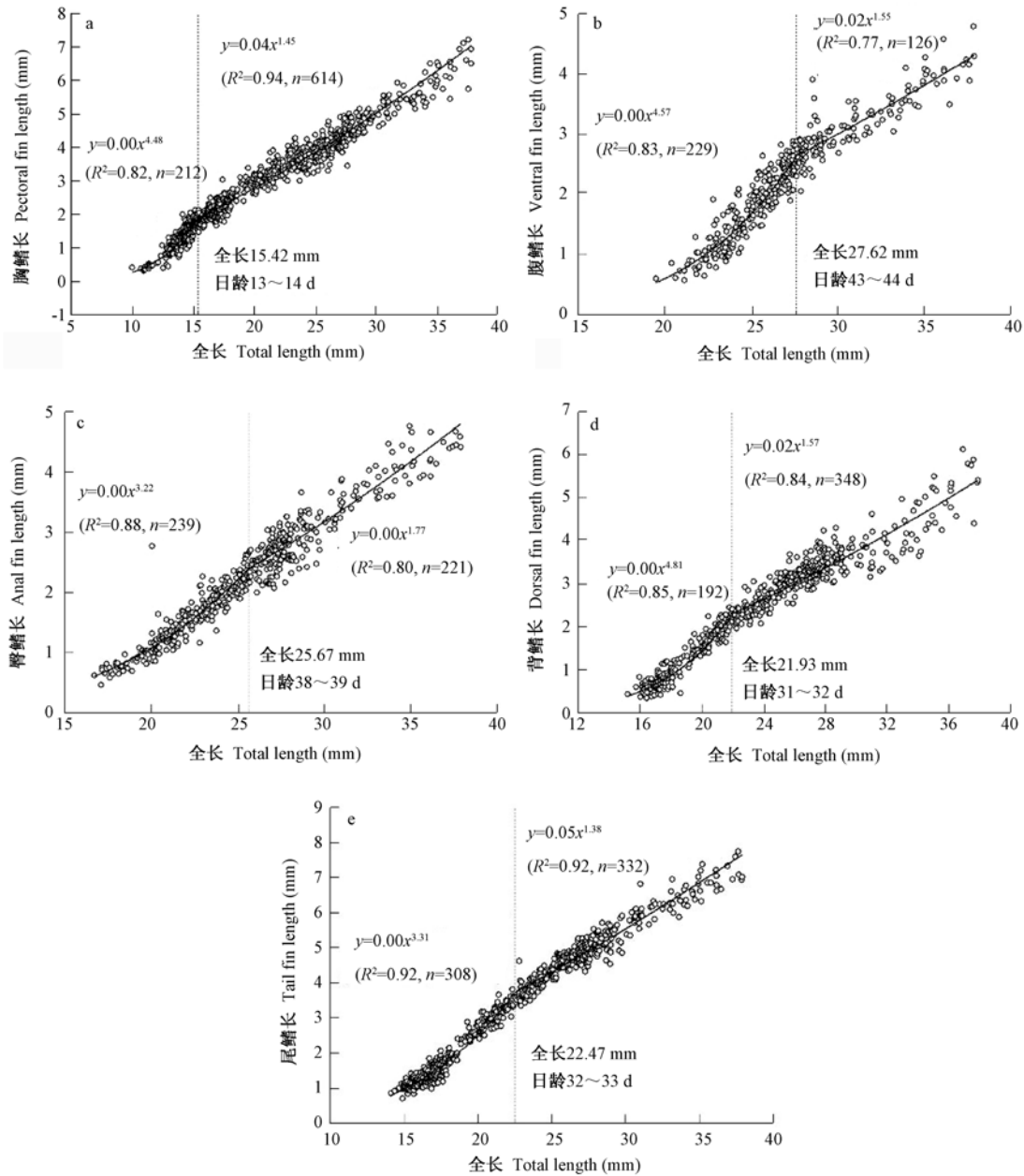


图 5 鲈鲤仔鱼运动相关器官的异速生长曲线

Fig. 5 Allometric growth pattern of locomotor organs as a function of total length in *Percocypris pingi pingi* larvae

a. 胸鳍长与全长的异速生长关系; b. 腹鳍长与全长的异速生长关系; c. 臀鳍长与全长的异速生长关系; d. 背鳍长与全长的异速生长关系; e. 尾鳍长与全长的异速生长关系。

a. Allometric growth pattern between pectoral fin length and total length; b. Allometric growth pattern between ventral fin length and total length; c. Allometric growth pattern between anal fin length and total length; d. Allometric growth pattern between dorsal fin length and total length; e. Allometric growth pattern between tail fin length and total length.

The dashed line represents the days after hatching of inflexion point for fins growth, pectoral fin length (13 - 14 d), ventral fin length (43 - 44 d), anal fin length (38 - 39 d), dorsal fin length (31 - 32 d), tail fin length (32 - 33 d).

异(van Snik et al. 1997, Gisbert 1999, 庄平等 2009),如鲈鲤仔鱼的大部分形态测量特征出现异速生长拐点时的日龄均比鲤、非洲鲇等种类显著靠后,与西伯利亚鲟相比也存在一定的延后性,分析其可能与鲈鲤仔鱼培育温度、生活习性等有关。

3.1 头部器官和身体各部的异速生长模式

鲈鲤仔鱼在 25 日龄时全长的生长指数显著上升,由慢速生长转向快速生长,此时各功能器官已初步发育完全,同时摄食饵料也由卤虫无节幼体转变为冰冻红虫,仔鱼在摄食时消耗的能量减少,而且能获得充足的营养,因此其生长明显加快,这与庄平等(2009)的研究结果相似。

其仔鱼眼径则在 14~15 日龄最先由快速生长进入等速生长模式,15 日龄正好是仔鱼卵黄被吸尽的时期,因此,仔鱼眼径早期的正异速生长充分保证了眼睛的发育,不仅有利于其寻找食物,而且有助于其感知和躲避敌害,充分体现了眼睛在仔鱼早期发育阶段所起的重要作用(Gisbert 1999, 庄平等 2009)。

吻长则在 33~34 日龄出现生长拐点,吻部在仔鱼开口后仍持续快速生长了一段时间,以使口部的发育得到不断完善,从而有助于主动摄食以获得充足的营养。这与 Gisbert(1999)、庄平等(2009)的研究结果一致,均认为仔鱼开口后,进入混合营养阶段,向外界摄食的压力随着体内卵黄的逐渐消失而增大,口部仍继续生长,以适合不同食物大小(Osse et al. 1997, Gisbert 1999, 庄平等 2009)。

多数鱼类仔鱼的相对生长表现为“U”型模式,即头长和尾长呈正异速生长,而躯干长呈负异速生长(Fuiman 1983)。本研究中鲈鲤仔鱼的头长、肛前长和肛后长的生长与此模式基本一致,均在 22~27 日龄出现生长拐点。在拐点前肛前长和肛后长处于等速生长模式时,头长优先得到了快速生长,眼径和吻长也在拐点前呈现快速生长,因此头部的生长充分保证了头部的视觉、捕食等重要器官的发育,这与 Osse 等的假说是一致的(Osse et al. 1997)。肛后长在拐点后出现快速生长,大大促进了主要运动

器官之一尾鳍的发育。而肛前长在拐点后出现慢速生长,是在躯干部各器官的发育得到充分保证的基础上,有助于协调仔鱼身体的平衡。

3.2 运动相关器官的异速生长模式 本研究表明,尽管鲈鲤的胸鳍、腹鳍、臀鳍、背鳍和尾鳍的生长拐点不同,但均呈现相似的异速生长模式,即拐点前呈现极快速的生长,拐点后生长指数显著下降。除腹鳍外,其余鳍在拐点前、后均表现快速生长,而腹鳍则在拐点处由快速生长转为等速生长模式。

胸鳍最先在 13~14 日龄出现生长拐点,此时恰是仔鱼卵黄即将吸尽需主动摄食外源营养的时期,胸鳍主司平衡作用,它的优先发育为仔鱼早期平衡能力的提高奠定了基础。其次是背鳍和尾鳍,分别在 31~32 日龄、32~33 日龄出现生长拐点,背鳍在拐点处鳍条基本发育完全,但尾鳍直至实验结束时仍未发育完全。随着背鳍的发育完全,臀鳍和腹鳍分别在拐点处即 38~39 日龄、43~44 日龄时发育完全,此时仔鱼的游泳能力已得到大幅提高,其主动摄食和躲避敌害的能力也随之加强,已能较好地适应多变的外界环境。实验发现,除腹鳍外,鲈鲤其余各鳍在 57 日龄时仍未达到等速生长模式,这有可能是这些游泳器官的快速发育过程需延续到稚鱼期或幼鱼期,从而充分保证鲈鲤适应环境的能力,这需要进一步实验验证。

通过对鲈鲤仔鱼早期发育阶段异速生长的研究,发现其多数器官均具有异速生长的特点,既具有与多数鱼类相似的生长模式,也拥有自身独特的模式。不论何种模式,鲈鲤仔鱼时期的异速生长,都是为了促进与早期生存密切相关的各重要功能器官的快速发育,从而大大提高其主动摄食和躲避敌害的能力,以适应复杂的外界环境。在苗种生产和野生资源保护中,可根据鲈鲤仔鱼时期的异速生长规律和特点,创造或改善其早期发育阶段的环境条件,提高其早期存活率,从而为丰富鱼类资源作出贡献。

参 考 文 献

Choo C K, Liew H C. 2006. Morphological development and

- allometric growth patterns in the juvenile seahorse *Hippocampus kuda* Bleeker. *Journal of Fish Biology*, 69(2): 426–445.
- Fuiman L A. 1983. Growth gradients in fish larvae. *Journal of Fish Biology*, 23(1): 117–123.
- Gisbert E. 1999. Early development and allometric growth patterns in Siberian sturgeon and their ecological significance. *Journal of Fish Biology*, 54(4): 852–862.
- Huxley J S. 1932. *Problems of Relative Growth*. London: Methuen.
- Huysentruyt F, Moerkerke B, Devaere S, et al. 2009. Early development and allometric growth in the armoured catfish *Corydoras aeneus* (Gill, 1858). *Hydrobiologia*, 627(1): 45–54.
- Ihaka R, Gentleman R. 1996. R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5(3): 299–314.
- Katsanevakis S, Thessalou-Legaki M, Karlou-Riga C, et al. 2007. Information-theory approach to allometric growth of marine organisms. *Marine Biology*, 151(3): 949–959.
- Muggeo V M R. 2008. Segmented: an R package to fit regression models with broken-line relationships. *R News*, 8(1): 20–25.
- Osse J W M, van den Boogaart J G M. 1995. Fish larvae, development, allometric growth and the aquatic environment. *ICES Marine Sciences Symposium*, 201: 21–34.
- Osse J W M, van den Boogaart J G M, van Snik G M J, et al. 1997. Priorities during early growth of fish larvae. *Aquaculture*, 155(1/4): 249–258.
- Peña R, Dumas S. 2009. Development and allometric growth patterns during early larval stages of the spotted sand bass *Paralabrax maculatofasciatus* (Percoidae; Serranidae). *Scientia Marina*, 73(Suppl 1): 183–189.
- Rohlf F J. 2005. *tpsDig, Digitize Landmarks and Outlines, Version 2.04*. Stony Brook: Department of Ecology and Evolution, State University of New York.
- StatSoft Inc. 2001. STATISTICA (data analysis software system), version 6. [CP/OL]. [2001-10-21]. <http://www.statsoft.com>.
- van Snik G M J, van den Boogaart J G M, Osse J W M. 1997. Larval growth patterns in *Cyprinus carpio* and *Clarias gariepinus* with attention to the finfold. *Journal of Fish Biology*, 50(6): 1339–1352.
- 曹文宣, 常剑波, 乔晔, 等. 2007. 长江鱼类早期资源. 北京: 中国水利水电出版社, 36–44.
- 崔桂华, 褚新洛. 1990. 鲤科鱼类鲈鲤的亚种分化和分布. *动物分类学报*, 15(1): 118–123.
- 丁瑞华. 1994. 四川鱼类志. 成都: 四川科学技术出版社, 275–277.
- 耿毅, 陈德芳, 彭成卓. 2006. 鲈鲤鳃霉病与车轮虫混合感染的诊治. *科学养鱼*, (3): 58.
- 韩文轩, 方精云. 2008. 幂指数异速生长机制模型综述. *植物生态学报*, 32(4): 951–960.
- 何勇凤. 2010. 长江上游特有鱼类分布格局与稀有 鲫种群分化的研究. 武汉: 中国科学院水生生物研究所博士学位论文.
- 刘必生, 李建光, 李正友, 等. 2011. 鲈鲤含肉率及肌肉营养成分的测定与品质评价. *贵州农业科学*, 39(11): 166–170.
- 马境, 章龙珍, 庄平, 等. 2007. 施氏鲟仔鱼发育及异速生长模型. *应用生态学报*, 18(12): 2875–2882.
- 马秀慧, 任爽, 王志坚. 2011. 鲈鲤幼鱼消化系统的组织学研究. *贵州农业科学*, 39(3): 172–175.
- 单秀娟, 窦硕增. 2009. 鱼(*Müchthys müüü*)仔、稚鱼发育生长方式及其生态学意义. *海洋与湖沼*, 40(6): 714–719.
- 韦先超, 金灿彪, 邓思红. 2006. 鲈鲤养殖技术的初步研究. 2006年中国科协年会农业分会论文集, 146–148.
- 殷殿称. 1991. 鱼类早期生活史研究与其进展. *水产学报*, 15(4): 348–358.
- 庄平, 宋超, 章龙珍, 等. 2009. 全人工繁殖西伯利亚鲟仔稚鱼发育的异速生长. *生态学杂志*, 28(4): 681–687.