

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200308002

http://www.yykxjz.cn/

王亚利, 刘玥, 田佳佳, 黄静, 蒲德永, 王志坚. 温度对四川华鲮仔、稚鱼生长发育及存活率的影响. 渔业科学进展, 2021, 42(5): 47-54

WANG Y L, LIU Y, TIAN J J, HUANG J, PU D Y, WANG Z J. Effects of different temperatures on the growth and survival rate of *Sinibrama taeniatus* larvae and juveniles. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(5): 47-54

温度对四川华鲮仔、稚鱼生长发育及存活率的影响*

王亚利 刘玥 田佳佳 黄静 蒲德永 王志坚^①

(西南大学生命科学学院 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室
水产科学重庆市重点实验室 重庆 400715)

摘要 为探索温度对四川华鲮(*Sinibrama taeniatus*)仔、稚鱼早期发育的影响,本研究以刚出膜且发育正常的四川华鲮仔鱼为研究对象,共设置16℃、19℃、22℃、25℃、28℃和31℃ 6个温度梯度,并定期观察仔、稚鱼的生长发育进程。整个发育过程分为开口摄食、卵黄囊消失、鳞片出现、鳞被完整4个阶段,统计各阶段的发育天数并测定全长、体长、体重等生长参数,统计死亡数量,旨在掌握仔、稚鱼发育阶段的最适生长温度。结果显示,温度对仔、稚鱼生长发育影响较大。随着温度的升高,仔、稚鱼的发育进程加快,28℃、31℃组鳞被完整的时间均早于其他温度组,但与25℃组的时间差距不大。从全长和体重来看,28℃组均最大,25℃与31℃次之。随着温度的升高,四川华鲮仔、稚鱼存活率先上升后下降,22℃~28℃存活率均较高,其中,25℃组存活率最高。四川华鲮仔、稚鱼的全长(L)和日龄(D)的关系拟合函数相关系数值均达到0.99以上,表明Cubic生长模型能很好地反映其在不同温度条件下随日龄的生长情况。综合四川华鲮仔、稚鱼的发育进程、生长指标及存活率可知,25℃~28℃为四川华鲮仔、稚鱼生长发育的适宜温度。

关键词 四川华鲮; 仔、稚鱼; 温度; 生长发育; 存活率

中图分类号 Q174 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2021)05-0047-08

温度、溶解氧、光照强度等环境因子对鱼类存活、生长、生理代谢等有重大影响(徐革锋等, 2014; Tsuji *et al.*, 2014), 而鱼类早期生活史与温度有密切的联系(Yasuhisa *et al.*, 1993; Mihelakakis *et al.*, 1994; Fielder *et al.*, 2005; Suresh *et al.*, 2012)。温度的变化将直接影响鱼类仔、稚鱼的形态发育和生长,甚至影响其存活率。因此,在实际的育苗中,根据不同的发育阶段来确定其适宜的温度有利于缩短生长发育时间,促进鱼苗的加速生长,提高存活率,从而为养殖户带来较

高的收益(张淞琳, 2012)。近几年来,关于温度对仔、稚鱼生长发育的研究主要集中在冷水性鱼类上,如尖裸鲤(*Oxygymnocypris stewartii*)(刘艳超等, 2018)、哲罗鲑(*Hucho taimen*)(王金燕, 2011)、细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)(常杰等, 2016)等。

四川华鲮(*Sinibrama taeniatus*), 隶属鲤形目(Cypriniformes)、鲤科(Cyprinidae)、鲮亚科(Cultrinae)、华鲮属(*Sinibrama*), 为长江上游特有的小型经济鱼类。近年来,四川华鲮资源量不断下降(李斌等, 2015;

* 农业农村部财政专项[长江渔业资源与环境调查(CJDC-2017-12)]和重庆市社会事业与民生保障科技创新专项(重点研发项目)(cstc2017shms-zdyf0201)共同资助 [This work was supported by Ministry of Agriculture and Rural Affairs (CJDC-2017-12), and Social Undertaking and People's Livelihood Guarantee Science and Technology Innovation Fund (cstc2017shms-zdyf0201)]. 王亚利, E-mail: 13647682962@163.com

① 通讯作者: 王志坚, 教授, E-mail: wangzj1969@126.com

收稿日期: 2020-03-08, 收修改稿日期: 2020-05-04

解崇友等, 2016)。目前, 四川华鲮的人工繁殖技术已突破(李青芝等, 2019)。鱼类早期生活史是其整个生活史中的重要环节, 也是死亡高发时期, 该阶段的存活率直接影响其种群数量和年龄结构(肖真明等, 2008)。有关四川华鲮的研究甚少, 仅有关于四川华鲮繁殖生物学(李斌等, 2015; 李青芝等, 2019; 尹敏等, 2019a、2019b)、年龄与生长(解崇友等, 2016)、形态发育(王亚利等, 2020)及线粒体基因(Li *et al*, 2016)等少量报道。本研究设计了不同温度条件下四川华鲮仔、稚鱼发育的影响实验, 探究四川华鲮早期生活史的最适温度条件, 为后续的人工规模化苗种培育提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 材料

实验选取刚出膜且发育正常的四川华鲮 720 尾, 平均全长为(4.54±0.04) mm。整个孵化过程在自制绢网孵化框(长×宽×高为 640 mm×360 mm×60 mm)中进行, 温度用恒温加热棒控制在(25.0±0.5)℃。

1.2 温度设置

设置 6 个温度梯度(16℃、19℃、22℃、25℃、28℃和 31℃), 每个梯度 4 个重复, 每个重复 30 尾初孵仔鱼, 饲养于 1 L 的大烧杯中, 4 个烧杯放入一个作为恒温水浴的玻璃缸中(450 mm×250 mm×250 mm), 其中, 每个温度组的 1 个重复为备用, 用于补充死亡后的空缺, 以确保实验烧杯内的养殖密度相等。从仔鱼出膜水温(25.0±0.5)℃开始, 以每 8 h 升温或降温 1℃的速率调整至实验温度, 水温变化均控制在±0.5℃内。

1.3 实验方法

仔鱼出膜初期每天观察记录各温度组四川华鲮生长发育情况, 之后, 根据发育情况逐步延长取样观察间隔。每次观察时, 取重复组(除备用组)各 3 尾, 在体视显微镜(Nikon SMZ25, 日本)下活体观察, 并拍照记录仔、稚鱼形态特征, 统计各温度条件下开始摄食、卵黄囊消失、鳞片开始出现和鳞片完整 4 个早期发育的重要节点的时间, 发育时间以 50%以上个体到达该期的时间为准, 并以最先达到鳞片出现和鳞被完整发育节点的温度组与其他温度组进行四川华鲮形态及生长指标的比较。不同温度条件下, 4 个节点的仔、稚鱼用 Bouin 氏液和中性甲醛固定溶液各固定 4 尾标本以备复查。整个养殖密度随着仔、稚鱼的生长及取材的消耗而改变, 因死亡和取材造成的密度不

同则用备用组的仔、稚鱼进行补充, 以保证各个温度组的密度一致。养殖用水均为曝气的自来水, pH 值为 7.6±0.5, 溶解氧>7 mg/L, 光照周期为 14 L : 10 D。仔鱼开口后, 每天 09:00 和 18:00 各投喂 1 次丰年虫(*Artemia* sp.), 之后根据口裂大小逐渐使用升索鱼苗专用微粒子配合饲料代替, 投喂 30 min 后, 吸去粪便和残饵, 并换水 1/3。记录各个温度组的死亡数量, 实验结束后, 计算其死亡率。

1.4 数据处理

使用 Image J 图像分析软件测量相关数据, 运用 Excel 2010、SPSS 22.0 软件对数据进行统计分析。采用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验温度对四川华鲮仔、稚鱼全长、体重和存活率的影响, *t* 检验分析不同温度条件下四川华鲮生长指标的差异; 多项式回归分析得出全长和体重的曲线拟合方程。所有统计值均以平均值±标准差(Mean±SD)表示。参数计算公式:

$$\text{存活率(survival rate, SR, \%)}=(1-N_t/N_0)\times 100\%$$

$$\text{全长特定生长率(specific growth rate of total length, SGR}_L, \%/d)=(\ln L_{T2}-\ln L_{T1})/(t_2-t_1)\times 100\%$$

$$\text{体重特定生长率(specific growth rate of weight, SGR}_w, \%/d)=(\ln L_{W2}-\ln L_{W1})/(t_2-t_1)\times 100\%$$

式中, N_t 为死亡尾数(不计观察和采样造成的死亡数), N_0 为起始尾数; t_1 、 t_2 为日龄; L_{T1} 、 L_{T2} 分别为 t_1 、 t_2 时的全长; L_{W1} 、 L_{W2} 分别为 t_1 、 t_2 时的体重。

2 结果

2.1 温度对四川华鲮仔、稚鱼生长发育的影响

从图 1 可以看出, 温度对四川华鲮仔、稚鱼的生长发育有明显的影响。各温度条件下, 四川华鲮仔、稚鱼的鳍、鳔以及肠道的发育情况见表 1。

不同温度条件下, 四川华鲮仔、稚鱼生长性能见表 2。30 d 时, 在全长方面, 28℃组仔鱼生长最快, 全长最大, 约为 12.90 mm, 其中, 16℃、19℃、22℃组与 25℃、28℃、31℃组全长存在显著差异($P<0.05$), 而 25℃、28℃、31℃组之间无显著差异($P>0.05$); 在不同温度条件下, 30 d 内仔、稚鱼的 SGR_L 从大到小依次为 28℃>31℃>25℃>22℃>19℃>16℃。在体重方面, 28℃组仔鱼体重最大, 约为 0.062 4 g/尾, 与其余各组相比具有显著差异($P<0.05$), 而 19℃与 22℃之间无显著差异($P>0.05$), 25℃与 31℃之间也无显著差异($P>0.05$), 低温(16℃)组仔鱼的体重几乎未增长。

80 d 时, 在全长方面, 28℃组稚鱼生长最快, 全长

和体重均最大, 分别约为 20.473 3 mm 和 0.116 6 g/尾。仔、稚鱼的 SGR_L 从大到小依次为 $28^\circ\text{C} > 25^\circ\text{C} > 31^\circ\text{C} > 22^\circ\text{C} > 19^\circ\text{C} > 16^\circ\text{C}$, 可以看出, 25°C 的稚鱼期生长快于

31°C , 说明温度过高或过低, 对仔鱼生长都有一定的限制作用。30~80 d 内的 SGR_w 从大到小依次为 $22^\circ\text{C} > 16^\circ\text{C} > 31^\circ\text{C} > 25^\circ\text{C} > 19^\circ\text{C} > 28^\circ\text{C}$, 由此可知, 16°C

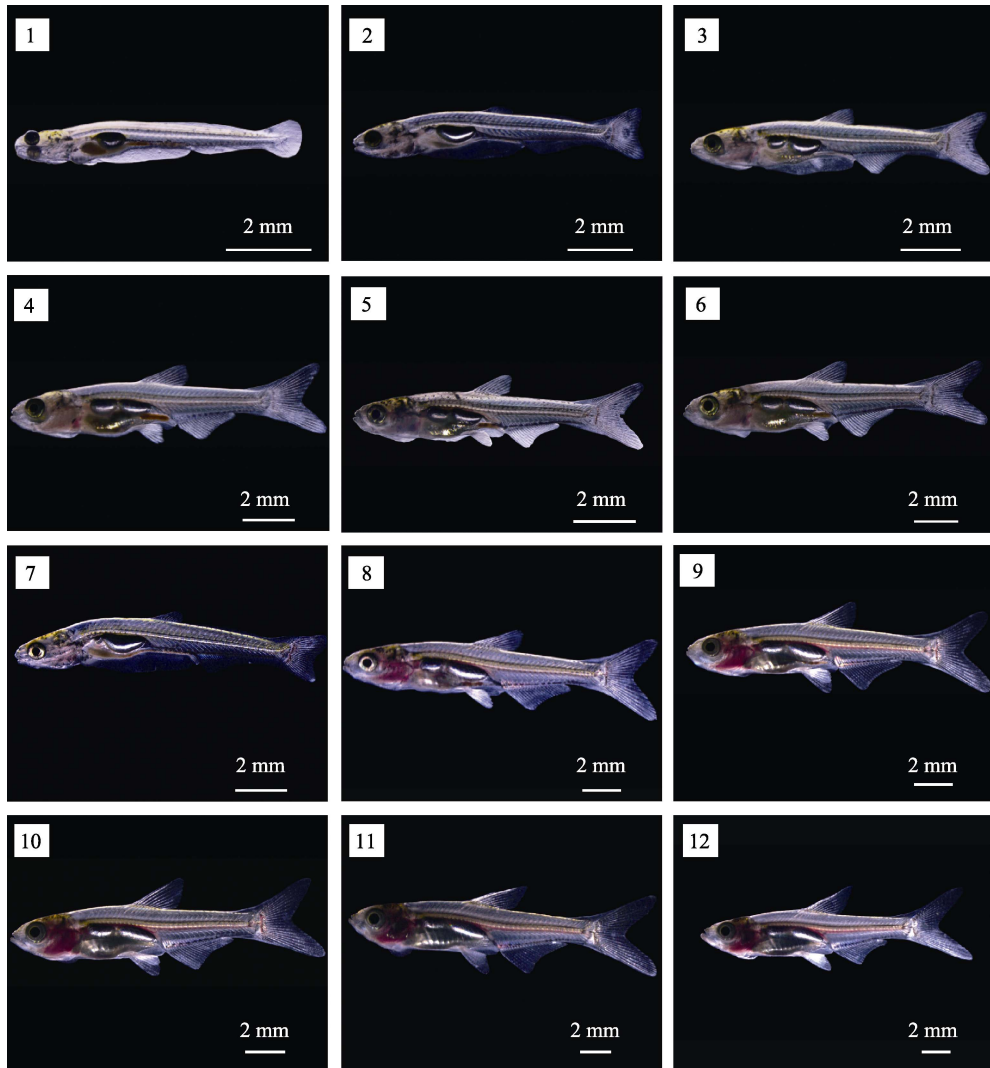


图 1 不同温度条件下, 四川华鲮仔、稚鱼的形态发育

Fig.1 The development of *S. taeniatus* larvae and juveniles at different temperatures

1: 16°C 30 日龄仔鱼; 2: 19°C 30 日龄仔鱼; 3: 22°C 30 日龄仔鱼; 4: 25°C 30 日龄仔鱼;
5: 28°C 30 日龄仔鱼; 6: 31°C 30 日龄仔鱼; 7: 16°C 80 日龄仔鱼; 8: 19°C 80 日龄稚鱼;
9: 22°C 80 日龄稚鱼; 10: 25°C 80 日龄稚鱼; 11: 28°C 80 日龄稚鱼; 12: 31°C 80 日龄稚鱼

1: 30th day post hatching(dph) (16°C); 2: 30th dph (19°C); 3: 30th dph (22°C); 4: 30th dph (25°C); 5: 30th dph (28°C); 6: 30th dph (31°C);
7: 80th dph (16°C); 8: 80th dph (19°C); 9: 80th dph (22°C); 10: 80th dph (25°C); 11: 80th dph (28°C); 12: 80th dph (31°C)

组仔鱼适应低温条件后, SGR_w 加快, 但体重仍显著低于其余各温度组 ($P < 0.05$); 28°C 组稚鱼体重虽最高, 但是 SGR_w 明显减慢, 显著低于其余各温度组 ($P < 0.05$)。

2.2 温度对四川华鲮仔、稚鱼发育进程的影响

不同温度条件下, 四川华鲮仔、稚鱼的 4 个发育进程历时, 即初孵仔鱼—开口摄食、开口摄食—卵黄

囊消失、卵黄囊消失—鳞片开始出现、鳞片开始出现—鳞被完整(表 3)。从表 3 可以看出, 水温为 $16^\circ\text{C} \sim 28^\circ\text{C}$ 时, 随着温度的升高, 四川华鲮仔、稚鱼的发育进程加快, 而当温度升至 31°C , 实验鱼鳞被完整总历时与 28°C 相等。在仔鱼期阶段(鳞片出现之前), 温度对初孵仔鱼到开口摄食的发育进程影响较小; 而从开口摄食到卵黄囊消失, 随着温度的升高, 卵黄囊的消耗

速率加快, 16℃组, 从初孵到卵黄囊消失历时是 28℃和 31℃的 3 倍。卵黄囊消失到鳞片出现的阶段, 温度较低组 16℃和 19℃的历时远远长于 22℃、25℃、

28℃、31℃组, 19℃的发育历时是 22℃组的 2 倍, 说明温度对此发育阶段影响较大。鳞片开始出现到鳞被完整的阶段, 各温度组的发育历时差距小于卵黄囊消失

表 1 温度对四川华鲮仔、稚鱼发育的影响

Tab.1 The effects of temperature on the development of *S. taeniatus* larvae and juveniles

| 温度/℃ Temperature | 仔、稚鱼出膜后的发育 Development of larvae and juveniles post hatching/dph | |
|---------------------|--|---|
| | 30 | 80 |
| 16 | 仔鱼背鳍褶、腹鳍褶与臀鳍褶较明显, 尾呈圆形, 前室鳔仅见锥形, 无黑色素的沉积, 肠道几乎呈直线型 | 仔鱼背鳍褶消失, 腹鳍褶与臀鳍褶尚未消失, 背鳍、臀鳍和尾鳍出现骨质鳍条, 鳔 2 室, 前室鳔体积很小, 有黑色素沉积, 尾鳍中央已出现内凹, 肠道开始弯曲 |
| 19 | 仔鱼腹鳍褶与臀鳍褶较明显, 背鳍褶基本消失, 尾鳍中央开始内凹, 鳔 2 室, 前室鳔开始充气, 有黑色素沉积, 肠道弯曲程度很小 | 稚鱼各鳍褶基本消失, 尾鳍呈叉形, 肠道盘曲 1 回, 前室鳔体积约为后室鳔的 1/3 |
| 22 | 仔鱼背鳍褶与臀鳍褶基本消失, 尾鳍中央内凹幅度大, 鳔 2 室, 后室鳔为前室鳔体积的 3~4 倍, 黑色素遍布前室鳔, 肠道锯齿状的凸起明显, 未弯曲折叠 | 稚鱼各鳍褶消失, 尾鳍深叉形, 肠道盘曲 2 回, 前室鳔体积约为后室鳔的 1/2 |
| 25 | 仔鱼腹鳍褶、背鳍褶与臀鳍褶均基本消失, 鳔 2 室, 且前后室鳔的体积相近, 肠道已出现回折弯曲 | 稚鱼各鳍褶消失, 尾鳍深叉形, 肠道盘曲 2 回, 2 室鳔的体积相近 |
| 28 | 与 25℃仔鱼的形态发育程度相近 | 与 25℃稚鱼的形态发育程度相近 |
| 31 | 与 25℃仔鱼的形态发育程度相近 | 与 25℃稚鱼的形态发育程度相近 |

表 2 温度对四川华鲮仔、稚鱼生长的影响(平均值±标准差)

Tab.2 Effects of temperature on the growth of *S. taeniatus* larvae and juveniles (Mean±SD)

| 温度 Temperature /℃ | 30 dph | | | 80 dph | | | 30~80 dph |
|-------------------------|-------------------------------|--|------------------------------|-------------------------------|--|------------------------------|--|
| | 全长 Total length /mm | 特定生长率 SGR _L /(%·d ⁻¹) | 平均体重 Body weight /g | 全长 Total length /mm | 特定生长率 SGR _L /(%·d ⁻¹) | 平均体重 Body weight /g | 特定生长率 SGR _w /(%·d ⁻¹) |
| 16 | 6.930 0±0.355 9 ^a | 1.406 8±0.173 9 ^a | 0.002 5±0.000 8 ^a | 9.538 8±0.587 3 ^a | 0.925 9±0.078 7 ^a | 0.011 0±0.000 9 ^a | 2.957 7±0.163 1 ^a |
| 19 | 9.190 0±0.381 8 ^b | 2.349 2±0.138 5 ^b | 0.016 2±0.003 4 ^b | 14.807 1±0.863 0 ^b | 1.475 9±0.073 4 ^b | 0.046 0±0.002 1 ^b | 2.087 0±0.088 9 ^b |
| 22 | 10.613 3±0.274 3 ^c | 2.829 9±0.085 5 ^c | 0.018 2±0.004 1 ^b | 17.453 3±0.626 9 ^c | 1.682 6±0.044 7 ^c | 0.080 1±0.003 7 ^c | 2.961 9±0.092 1 ^a |
| 25 | 12.731 7±0.429 9 ^d | 3.435 6±0.113 5 ^d | 0.040 2±0.009 9 ^c | 19.990 0±1.199 7 ^d | 1.850 8±0.075 6 ^d | 0.114 9±0.010 3 ^d | 2.093 3±0.181 0 ^b |
| 28 | 12.900 0±1.197 1 ^d | 3.468 9±0.311 5 ^d | 0.062 4±0.008 6 ^d | 20.473 3±1.050 7 ^d | 1.881 3±0.065 0 ^d | 0.116 6±0.005 6 ^d | 1.248 7±0.096 4 ^c |
| 31 | 12.793 3±0.549 4 ^d | 3.450 7±0.144 7 ^d | 0.031 8±0.000 5 ^c | 19.886 7±0.408 5 ^d | 1.846 2±0.025 8 ^d | 0.107 2±0.005 6 ^c | 2.427 6±0.103 1 ^d |

注: 同列中带不同的上标的数值间有显著差异(P<0.05)

Note: Means in the same column with different superscripts are significantly different (P<0.05)

表 3 温度对四川华鲮仔、稚鱼发育进程的影响

Tab.3 The effects of temperature on the development of *S. taeniatus* larvae and juveniles

| 发育阶段 Developmental stage | 天数 Days/d | | | | | |
|---|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 16℃ | 19℃ | 22℃ | 25℃ | 28℃ | 31℃ |
| 初孵仔鱼—开口摄食 The newly hatched larvae—Larvae feeding | 7 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| 开口摄食—卵黄囊消失 Larvae feeding—Disappearance of the yolk sac | 11 | 7 | 6 | 5 | 3 | 3 |
| 卵黄囊消失—鳞片开始出现 Disappearance of the yolk sac—Appearance of scales | 65 | 61 | 30 | 25 | 25 | 24 |
| 鳞片开始出现—鳞被完整 Appearance of scales—Intact scales | / | 77 | 57 | 53 | 49 | 50 |
| 合计 Total days | / | 150 | 97 | 86 | 80 | 80 |

注: /: 实验鱼数量不足, 停止观察

Note: / indicated the number of experimental fish was insufficient, and observation was stopped

到鳞片开始出现阶段的发育历时,说明温度对鳞片逐步完整的影响较小。整体来看,28℃、31℃组鳞片被完整的总历时均早于其他温度组,但与25℃组的历时差距不大。

2.3 四川华鲮仔、稚鱼全长与日龄的关系

统计各温度组四川华鲮仔、稚鱼发育至80日龄的全长数值,全长(L)与日龄(D)的关系拟合成3次多项式函数(表4),四川华鲮仔、稚鱼全长观测值与拟合模型相关系数数值均达到0.99以上,表明Cubic生长模型能很好地估计四川华鲮仔、稚鱼全长在不同温度条件下随日龄的生长情况。从表4可以看出,25℃、28℃和31℃组的仔、稚鱼生长速度明显快于其他3个温度组,同时,生长曲线较好地反映了在一定的温度范围内,仔、稚鱼的全长随温度的升高而增长。

表4 四川华鲮全长(L)与日龄(D)的回归方程
Tab.4 Regression equations of total length (L) and days (D) post hatching of *S. taeniatus*

| 温度/℃ Temperature | 拟合 Cubic 模型方程 Cubic function | R ² |
|---------------------|--|----------------|
| 16 | TL=2×10 ⁻⁵ D ³ -0.002 5D ² +0.136 6D+4.686 1 | 0.992 4 |
| 19 | TL=3×10 ⁻⁶ D ³ -0.000 9D ² +0.176 2D+4.525 5 | 0.992 6 |
| 22 | TL=8×10 ⁻⁶ D ³ -0.001 8D ² +0.258 9D+4.507 9 | 0.994 0 |
| 25 | TL=-7×10 ⁻⁷ D ³ -0.001 1D ² +0.282 0D+4.708 3 | 0.995 7 |
| 28 | TL=3×10 ⁻⁵ D ³ -0.005 2D ² +0.396 9D+4.245 1 | 0.994 0 |
| 31 | TL=2×10 ⁻⁵ D ³ -0.003 3D ² +0.348 5D+4.445 1 | 0.998 8 |

注:25℃组全长观测值Cubic生长模型引用王亚利等(2020)的研究结果

Note: The Cubic function model of the total-length observations in the 25℃ group quoted the results of Wang et al (2020)

2.4 温度对四川华鲮仔、稚鱼存活率的影响

本研究从四川华鲮仔鱼出膜开始,统计至25℃组鳞片完备期间各温度组仔、稚鱼的存活率,并拟合3次曲线方程为 $y=0.000 3x^3-0.022 9x^2+0.673 7x-5.520 4$ ($R^2=0.995 2$)(图2)。此期间,16℃组存活率最低,仅为43%,其次是19℃组,存活率为73%,22℃~28℃组的存活率均达90%,其中,25℃组存活率最高,达97%;而31℃组的存活率为87%。从图2可以看出,温度对四川华鲮仔、稚鱼的存活率影响较

大,在一定温度范围内,存活率随温度的升高而升高;温度过低或过高,都不利于仔、稚鱼的存活。

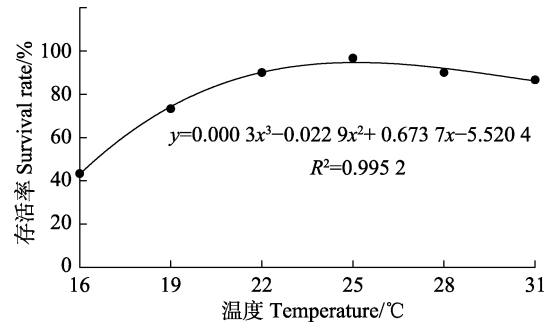


图2 不同温度组四川华鲮仔、稚鱼存活率

Fig.2 Survival rate of *S. taeniatus* larvae and juveniles at different temperatures

3 讨论

3.1 温度与仔、稚鱼生长发育进程

在鱼类早期生活史阶段,仔鱼期和稚鱼期是胚后发育的2个主要时期。处于早期发育阶段的仔鱼,其形态、消化器官等均处于快速生长期,这些器官的发生、发育速度与其存活、生长及摄食行为习性的变化等密切相关(王林龙等,2018)。本研究观察不同温度条件下,四川华鲮仔、稚鱼的生长发育情况发现,温度对四川华鲮仔、稚鱼的发育速度有明显的影响,各温度组的形态及器官发育进度不同,同时,在体重、全长等方面也有明显的不同。

温度对四川华鲮仔、稚鱼的发育影响显著。仔鱼期,四川华鲮由内源性营养转向外源性营养,同时,较高温度组(25℃、28℃和31℃)中卵黄囊的消耗速率快,开口摄食时间早,说明开口摄食的时间会随着温度升高而提前,与南方鲿(*Silurus meridionalis* Chen)的研究结果一致(邓思平等,2000)。25℃、28℃和31℃条件下的仔鱼,在6~8d时,卵黄囊已消失,促使较高温度组与摄食相关的器官发育快于低温组。例如,较高温度组为寻求食物,各鳍褶退化更快,并出现鳍条,运动能力明显更强,鳔由一室向两室转变,从而辅助鱼体快速摄食;同时,胃部膨大,肠道开始弯曲盘回,从而加速食物的消化。稚鱼期,28℃和31℃组的鳞片完整时间快于其他温度组。由此可见,温度不同,各器官完善的历程也不一致,在28℃和31℃条件下,器官分化亦提前完成。

在适温范围内,鱼类的代谢强度一般与温度呈正相关,而鱼类的生长与机体的新陈代谢密切联系

(Nurdiani *et al.*, 2007)。本研究表明, 80 d 时, 28℃条件下, 稚鱼的全长和体重均最大, 其次是 25℃, 说明在一定范围内, 随着温度的升高, 四川华鳊的生长加快, 但温度过高, 反而会抑制生长。因此, 四川华鳊仔、稚鱼培育阶段的水温为 25℃~28℃时, 其生长速度相对较快。徐革锋等(2014)研究表明, 适宜的温度会引起鱼类摄食节律变化, 达到较好的生长效果, 从而缩短仔、稚鱼培育周期。

3.2 温度与仔、稚鱼存活率

李斌等(2015)研究表明, 分布在长江上游岷江眉山段的四川华鳊种群已经出现了小型化趋势, 而繁殖后代仔鱼的存活率将直接影响该物种的种群数量。温度是影响鱼类生存的重要的环境因子之一, 对鱼类代谢反应起控制作用, 从而能够影响鱼类的存活率(Lushchak *et al.*, 2006)。本研究与张廷廷等(2016)和蔡瑞钰等(2018)的研究结果一致, 发现温度过高或过低都有可能致仔、稚鱼大量死亡。仔、稚鱼种类与温度有极显著的相关性(王九江等, 2019), 不同种类的鱼具有不同的适温范围, 这与其自身遗传特性以及对生活环境的长期适应有关(谢忠明, 1993)。在室内养殖发现, 四川华鳊仔鱼在出膜 1 周左右存在死亡高峰期。因此, 在人工养殖过程中, 探究适宜的温度, 可降低四川华鳊仔、稚鱼的死亡率。

本研究发现, 整个实验的养殖过程, 四川华鳊的死亡集中在仔鱼期, 而在稚鱼期的死亡数量相对较少, 表明, 仔鱼期对温度更为敏感, 稚鱼期对温度已逐步适应, 此现象与云南盘鮈(*Discogobio yunnanensis*) (蔡瑞钰等, 2018)、胭脂鱼(*Myocyprinus Asiaticus*) (张春光等, 2000)的研究一致, 其原因可能是由于仔鱼期间的各种器官系统、生理机能均处于形成和发育过程中, 仔鱼对环境因子的变化非常敏感(周勤等, 1998)。从整体上看, 16℃组四川华鳊的摄食能力弱且发育迟缓, 存活率明显低于其他温度组, 当发育至 150 d 时, 能存活的稚鱼数量则更少, 由此可知, 16℃组四川华鳊仔、稚鱼的发育已受阻。随着温度升高, 四川华鳊的存活率从 16℃~25℃一直升高, 28℃开始下降, 但 22℃~28℃组的存活率均较高(90%~97%)。而四川华鳊仔、稚鱼在 31℃条件下的存活率为 87%, 存活率相对较高。由此可知, 对四川华鳊仔、稚鱼来说, 31℃是可生存的温度。总的来说, 四川华鳊仔、稚鱼阶段有较广的温度范围, 可提高其在野外条件的存活率。

在生产上追求的是较高的存活率和较快的生长速

度。因此, 可将 25℃~28℃作为人工养殖四川华鳊仔、稚鱼生长的最适温度, 并在仔鱼出膜后 3 d 可投喂饵料。

参 考 文 献

- CAI R Y, ZHAO J R, HUANG J, *et al.* The effects of different temperature on the growth and survival rate of *Discogobio yunnanensis* larvae and juveniles. *Freshwater Fisheries*, 2018, 48(3): 96–100 [蔡瑞钰, 赵健蓉, 黄静, 等. 温度对云南盘鮈仔稚鱼生长及存活率的影响. *淡水渔业*, 2018, 48(3): 96–100]
- CHANG J, XU G F, LI S G, *et al.* Effect of temperature and salinity on the survival and growth of larval and juvenile stage Manchurian trout (*Brachymystax lenok* Pallas). *Journal of Hydroecology*, 2016, 37(5): 87–91 [常杰, 徐革锋, 李树国, 等. 温度与盐度对细鳞鲑仔、稚鱼存活和生长的影响. *水生态学杂志*, 2016, 37(5): 87–91]
- DENG S P, WU T L, WANG D S, *et al.* Effect of temperature on the growth and development of larva southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen). *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science)*, 2000, 25(6): 674–679 [邓思平, 吴天利, 王德寿, 等. 温度对南方鲶幼鱼生长与发育的影响. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2000, 25(6): 674–679]
- FIELDER D S, BARDSLEY W J, ALLAN G L, *et al.* The effects of salinity and temperature on growth and survival of Australian snapper *Pagrus auratus* larvae. *Aquaculture*, 2005, 250(1/2): 201–214
- LI B, XIE C Y, ZHANG T, *et al.* The reproductive biology of *Sinibrama taeniatus* from the Minjiang River (in Meishan City). *Chinese Journal of Zoology*, 2015, 50(4): 563–570 [李斌, 解崇友, 张婷, 等. 岷江眉山段四川华鳊的繁殖生物学资料. *动物学杂志*, 2015, 50(4): 563–570]
- LI Q Z, LI H, CHEN Y L, *et al.* Embryonic development of *Sinibrama taeniatus*. *Journal of Hydroecology*, 2019, 40(6): 106–110 [李青芝, 李华, 陈彦伶, 等. 四川华鳊胚胎发育观察. *水生态学杂志*, 2019, 40(6): 106–110]
- LI W T, SHAO K, XIONG M H, *et al.* The complete mitochondrial genome of *Sinibrama taeniatus* (Cyprinidae: Cultrinae). *Mitochondrial DNA*, 2016, 27(3): 1597–1598
- LIU Y C, LIU H P, LIU S Y, *et al.* Effect of temperature on embryonic development and growth traits of *Oxygymnocypris stewartii* larvae and juvenile. *Chinese Journal of Zoology*, 2018, 53(6): 910–923 [刘艳超, 刘海平, 刘书蕴, 等. 温度对尖裸鲤胚胎发育及其仔稚鱼生长性状的影响. *动物学杂志*, 2018, 53(6): 910–923]
- LUSHCHAK V I, BAGNYUKOVA T V. Temperature increase results in oxidative stress in goldfish tissues. 1. Indices of oxidative stress. *Comparative Biochemistry and Physiology C: Toxicology and Pharmacology*, 2006, 143(1): 30–35
- MIHELAKAKIS A, KITAJIMA C. Effects of salinity and

- temperature on incubation period, hatching rate and morphogenesis of the silver sea bream, *Sparus sarba*. *Aquaculture*, 1994, 126(3/4): 361–371
- NURDIANI R, ZENG C S. Effects of temperature and salinity on the survival and development of mud crab, *Scylla serrata* (Forsskål), larvae. *Aquaculture Research*, 2007, 38(14): 1529–1538
- SURESH B C, SHAILENDER M, SARMAL K P, *et al.* Effects of temperature and salinity on growth, hatching rate and survival of the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* under captive conditions. *International Journal of Bioassays*, 2012, 1(15): 150–155
- TSUJI M, ABE H, HANYUU K, *et al.* Effect of temperature on survival, growth and malformation of cultured larvae and juveniles of the seven-band grouper *Epinephelus septemfasciatus*. *Fisheries Science*, 2014, 80(1): 69–81
- WANG J J, LIU Y, XIAO Y Y, *et al.* Population characteristics of fish eggs and larvae and their relationship with environmental factors in Daya Bay. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(1): 14–25 [王九江, 刘永, 肖雅元, 等. 大亚湾鱼卵、仔稚鱼种群特征与环境因子的相关关系. *中国水产科学*, 2019, 26(1): 14–25]
- WANG J Y. The study of biochemical composition changes in embryonic and larval development and temperature on the larvae growth of *Hucho taimen*. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2011 [王金燕. 哲罗鲑胚胎和仔鱼发育期的生化组成变化及温度对仔稚鱼生长的影响研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2011]
- WANG L L, WANG Z, ZHANG X M, *et al.* Effects of different substrate and temperature on hunger tolerance in *Sepia esculenta* juveniles. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, 25(5): 1071–1081 [王林龙, 王展, 张雪梅, 等. 不同底质和温度对金乌贼仔乌饥饿耐受能力的影响. *中国水产科学*, 2018, 25(5): 1071–1081]
- WANG Y L, LIU Y, TIAN J J, *et al.* Growth and morphological development of larva and juvenile *Sinibrama taeniatus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2020, 41(4): 58–67 [王亚利, 刘玥, 田佳佳, 等. 四川华鲮仔稚鱼生长与形态发育研究. *渔业科学进展*, 2020, 41(4): 58–67]
- XIAO Z M, GUO X Z. Advances and studies on early life history stages of fish. *Journal of Beijing Fisheries*, 2008(1): 43–45 [肖真明, 郭小泽. 鱼类早期生活史分期研究进展. *北京水产*, 2008(1): 43–45]
- XIE C Y, NI L Y, WU D, *et al.* Age and growth of *Sinibrama taeniatus* in Meishan Section of Minjiang River. *Sichuan Journal of Zoology*, 2016, 35(1): 78–83 [解崇友, 倪露芸, 吴迪, 等. 岷江眉山段四川华鲮年龄与生长. *四川动物*, 2016, 35(1): 78–83]
- XIE Z M. *Freshwater breeding fish breeding technology*. Beijing: China Agricultural Press, 1993, 445 [谢忠明. 淡水良种鱼类增养殖技术. 北京: 中国农业出版社, 1993, 445]
- XU G F, WANG Y Y, HAN Y, *et al.* Effect of locomotion and feeding on metabolic mode of juvenile lenok, *Brachymystax lenok* (Pallas) under different water temperatures. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(4): 1156–1162 [徐革锋, 王裕玉, 韩英, 等. 不同温度条件下运动和摄食对细鳞鲑幼鱼代谢模式的影响. *应用生态学报*, 2014, 25(4): 1156–1162]
- YASUHISA K, TSUZUMI M. Effects of salinity on the embryonic development and larval survival activity index of red spotted grouper *Epinephelus akaara*. *Saibai Giken*, 1993, 22(1): 35–38
- YIN M, XIE C Y, JIN L, *et al.* Microstructure and ultrastructure observation of spermatogenesis in *Sinibrama taeniatus*. *Freshwater Fisheries*, 2019a, 49(2): 32–37 [尹敏, 解崇友, 金丽, 等. 四川华鲮精子发生显微及超微结构观察. *淡水渔业*, 2019a, 49(2): 32–37]
- YIN M, XIE C Y, PU D Y, *et al.* Microstructure of oogenesis in *Sinibrama taeniatus*. *South China Fisheries Science*, 2019b, 15(2): 127–132 [尹敏, 解崇友, 蒲德永, 等. 四川华鲮卵子发生的显微结构观察. *南方水产科学*, 2019b, 15(2): 127–132]
- ZHANG C G, ZHAO Y H. Early development of Chinese sucker (*Myocyprinus asiaticus*). *Acta Zoologica Sinica*, 2000, 46(4): 438–447 [张春光, 赵亚辉. 胭脂鱼的早期发育. *动物学报*, 2000, 46(4): 438–447]
- ZHANG S L. Breeding biology and artificial breeding cultivate technology research of *Epinephelus coioides*. Master's Thesis of Jimei University, 2012 [张淞琳. 斜带石斑鱼养殖生物学及人工苗种培育技术研究. 集美大学硕士研究生学位论文, 2012]
- ZHANG T T, CHEN C, SHI Z H, *et al.* Effects of temperature on the embryonic development and larval activity of *Epinephelus moara*. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(3): 28–33 [张廷廷, 陈超, 施兆鸿, 等. 温度对云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*)胚胎发育和仔鱼活力的影响. *渔业科学进展*, 2016, 37(3): 28–33]
- ZHOU Q, WANG Y C, SU J X. Effects of water temperature on the growth, development, feeding PNR of larval Marbled (*Limanda yokohamae*). *Journal of Fishery Sciences of China*, 1998, 5(1): 31–38 [周勤, 王迎春, 苏锦祥. 温度对黄盖鲮仔鱼生长、发育、摄食及 PNR 的影响. *中国水产科学*, 1998, 5(1): 31–38]

Effects of Different Temperatures on the Growth and Survival Rate of *Sinibrama taeniatus* Larvae and Juveniles

WANG Yali, LIU Yue, TIAN Jiajia, HUANG Jing, PU Deyong, WANG Zhijian^①

(Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education;
Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing, School of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract *Sinibrama taeniatus* is a rare and unique small economic fish found in the upper reaches of the Yangtze River, including the Qinjiang, Qingyi, Jialing, and Dadu Rivers. In recent years, due to the Three Gorges Project and overfishing, wild populations of *S. taeniatus* have decreased sharply. Water temperature is a critical factor for newly hatched larvae, significantly affecting growth, differentiation, and survival. Determination of the optimal water conditions for *S. taeniatus* growth performance is essential to maximize production. To explore the effects of temperature on the growth and survival of *S. taeniatus* larvae and juveniles, an experiment was conducted at 16°C, 19°C, 22 °C, 25°C, 28°C and 31°C. The entire developmental process was divided into four stages: Larvae feeding, disappearance of the yolk sac, appearance of the scales, and intact scales. The length of each stage (in days) was counted, and the growth parameters such as total length and weight were measured. The results showed that the development process accelerated with increasing water temperature. The time to intact scales in the 28°C and 31°C groups was shorter than in the other temperature groups but did not differ from the 25°C group. At 80 days of development, the body weight of *S. taeniatus* in the 25°C and 28°C groups was significantly heavier, especially in the 28°C group. With increasing temperatures, the survival rate of *S. taeniatus* larvae and juveniles initially increased and then decreased. The survival rate was higher at 22°C~28°C, and the composition survival rate was highest at 25°C. The correlation coefficients of the fitting function between total length (L) and the days after hatching (D) were greater than 0.99, indicating that a cubic growth function properly reflects growth at different temperatures. Based on the development process, growth index, and survival rates of *S. taeniatus* larvae and juveniles, 25°C~28°C is the optimal temperature range for *S. taeniatus* production.

Key words *Sinibrama taeniatus*; Larvae and juveniles; Temperature; Growth; Survival rate

^① Corresponding author: WANG Zhijian, E-mail: wangzj1969@126.com