

水温对鲢早期发育的影响

唐丽君^{1,2} 张筱帆^{1,2} 张堂林¹ 李钟杰¹ 刘家寿¹ 程庆武³

1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 武汉市江夏区国营牛山湖渔场, 武汉 430205

摘要 通过设置温度梯度, 对不同水温条件下(17、20、23、26 和 29 °C) 鲢胚胎发育的速度、孵化率、存活率和出苗率进行研究, 并探讨水温变化与仔鱼生长及畸形率的关系。结果发现, 随着水温升高, 鲢受精卵的孵化时间明显缩短, 发育速度加快。水温变化对孵化率、存活率和出苗率有着显著的影响, 17 和 20 °C 处理组的存活率和出苗率均显著低于 23 °C 处理组 ($P < 0.05$)。但 26 和 29 °C 处理组的存活率和出苗率与 23 °C 处理组没有显著的差异。试验结束时, 最低水温组仔鱼全长显著小于 23 °C 处理组 ($P < 0.01$), 而与其他 3 个水温组之间没有显著的差异; 各水温组均出现畸形的仔鱼, 畸形率与孵化水温没有显著的相关性。综合分析可知: 鲢早期发育的最适水温为 23~26 °C, 水温从 23 °C 急剧升高 3~6 °C 不会对人工繁殖生产造成明显的负面影响, 但水温从 23 °C 急剧下降 3~6 °C 会对人工繁殖生产造成严重的损失。

关键词 鲢; 早期发育; 存活率; 畸形率; 水温

中图分类号 S 965.113 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)01-0092-05

在鱼类生活史中, 水温是影响其早期发育的重要环境因子之一^[1-2]。研究表明, 在一定的范围内, 水温升高能加速鱼类胚胎发育进程, 缩短孵化时间, 促使仔鱼提早开口摄食^[3-6]。但是, 鱼类对水温变化的适应能力有一定限度, 若超出适宜水温范围, 过高或过低的水温都会导致胚胎发育畸形或者停滞, 甚至死亡^[7]。此外, 不同鱼类的胚胎发育对水温的敏感性也不尽相同^[8-11]。

鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*) 是我国重要的养殖鱼类, 是著名的四大家鱼之一。早在 20 世纪 60 年代, 易伯鲁等^[12]就对自然条件下长江四大家鱼的早期发育过程进行了观察, 发现长江四大家鱼在水温 18 °C 以上才开始繁殖, 在 21~24 °C 时胚胎可孵化发育^[12]。郭永灿^[13]认为鲢胚胎发育的最适水温为 22~28 °C, 最低和最高临界水温可能在 16 和 33 °C。姜礼燊等^[14]的研究表明鲢胚胎发育的适宜水温为 22~27 °C, 最高临界水温不宜超过 32 °C。然而, 在以上 2 项研究中, 仅仅采用孵化率作为评估水温影响的参数, 并没有涉及到孵出后仔鱼的存活率和整个孵化过程中的出苗率。

长江中下游地区是我国淡水养殖的主要区域, 每年春季鱼类人工繁殖期间, 常常出现来自北方的冷空气南下, 气温骤降, 对鱼类繁殖生产造成较大的损失。为了提前预报冷空气对鱼类繁殖生产的影响程度, 减少低温灾害所造成的损失, 需要掌握水温变化对重要养殖鱼类早期发育影响的量化数据。因此, 笔者通过室内控温设施, 以胚胎孵化率、仔鱼存活率和孵化出苗率为参数, 定量评估不同水温对鲢早期发育的影响, 以期制定低温冷害对鱼类繁殖影响的气象预报方法提供参数。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设施

试验用受精卵来自武汉市江夏区国营牛山湖渔场, 受精时间相同(2011年5月16日07:00)。为了排除个体遗传的影响, 所用受精卵均来自同一对父母本。受精卵通过充氧塑料袋运输到实验室。

试验采用五套控温循环水养殖系统, 具有水温调节、水体过滤、紫外线消毒和充氧等功能。每套系统有 3 个圆柱形纤维缸(直径 0.75 m, 高 0.6 m),

收稿日期: 2013-03-21

基金项目: 公益性行业科研专项(GYHY201006029)和中国长江三峡集团公司科研项目(CT-12-08-01)

唐丽君, 博士研究生, 研究方向: 渔业生态学, E-mail: tanglj@ihb.ac.cn

通信作者: 张堂林, 博士, 研究员, 研究方向: 鱼类生态学与水产养殖, E-mail: tlzhang@ihb.ac.cn

可用于放置受精卵孵化的容器。孵化受精卵的容器为透明的小型塑料盒(规格 26 cm×20 cm×16 cm),盒盖上钻孔(直径 5~6 mm),两孔之间的间距为 10~12 mm,盒盖内侧贴放孔径为 0.42 mm 的网布,既可以使盒内外水流交换以保证溶氧充足,又可以防止受精卵和孵出的仔鱼溢出。试验开始前,对鱼缸和孵化容器进行多次冲洗和消毒,每个鱼缸加入约 250 L 自来水,经过过滤和曝气(至少 48 h)后备用。

1.2 试验设计

为了探讨水温变化对鲢早期发育的影响,设置包括正常水温(23℃)在内的 5 个水温处理组,即以 23℃ 为对照处理,分别设置 2 个低水温处理组(17 和 20℃)和 2 个高水温处理组(26 和 29℃),降温和升温幅度分别为 3 和 6℃,每个水温处理组设有 4 个重复。本次试验使用 20 个孵化塑料盒(5 个温度处理×4 个重复),每个盒中随机放入 200 个处于原肠期(为了易于排除假受精卵)的受精卵。试验开始时,五套控温循环养殖系统的水温均为 23℃,待装有受精卵的塑料盒放入鱼缸后,除了 23℃ 处理组外,2 个低水温和 2 个高水温处理组调至相应的目标温度,水温上升或下降 3℃ 所需时间约为 1 h^[15]。

试验期间水流速度为 6~7 L/h,各鱼缸中溶氧维持在 6 mg/L 以上,水温昼夜波动控制在±0.5℃ 范围内。每个水温组中有一个孵化盒专门用于早期发育事件的观察,另外 3 个盒用于统计孵出的和存活的仔鱼数量。每隔 3~4 h 观察并记录各水温组受精卵的发育状况,当受精卵全部孵出时,统计出膜仔鱼数,然后再放回原孵化盒中继续观察。当仔鱼发育到刚刚开口摄食的鳃一室期时(卵黄基本耗尽),即终止试验,并将各个水温组存活下来的仔鱼分别用 4% 的福尔马林溶液固定,用于日后仔鱼数量的统计、畸形仔鱼鉴定及正常发育个体全长的测定。

1.3 数据处理与分析

基于胚前和胚后发育观察,确定孵出期(从受精开始到出膜所需的时间)和鳃一室期(孵出后至鳃一室形成)所需时间,统计受精卵孵化率、试验结束时(鳃一室期,刚好开口摄食)仔鱼存活率和孵化出苗率(孵化率=孵出的仔鱼数量/受精卵数量×100%,存活率=试验结束时存活仔鱼数/孵出时仔鱼数×100%,出苗率=试验结束时存活的仔鱼数/受精卵数量×100%)和畸形率(畸形率=试验结束时存活

畸形仔鱼数/存活的仔鱼数×100%)。

先将得到的数据进行平方根反正弦转换,用单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan's 多重比较检验不同水温处理组孵化率、存活率和出苗率之间的差异。采用 Spearman 检验分析存活仔鱼的畸形率与水温的相关性。当 $P < 0.05$ 时,认为差异显著。数据处理和统计检验采用 STATISTICA(Statsoft, Inc.) 软件进行。

2 结果与分析

2.1 水温变化对鲢胚胎发育速度的影响

在不同水温处理组中,鲢胚前发育的速度存在一定的差异;随着水温的升高或降低,孵化期缩短或延长,水温越高,孵化期越短。26 和 29℃ 处理组的孵化期分别为 31 和 27 h,比 23℃ 处理组(34 h)分别缩短了 3 和 7 h;20 和 17℃ 处理组的孵化期分别为 41 和 48 h,比 23℃ 处理组延长 7 和 14 h。孵化时间(Y)与水温(X)的回归方程: $Y = -1.733 X + 76.1 (n=5, R^2=0.969, P < 0.001)$ 。

鲢胚后发育速度也受到水温的影响,达到鳃一室期所需时间与温度成显著的负相关($P < 0.001$)。26 和 29℃ 处理组的鳃一室期分别为 92 和 69 h,比 23℃ 处理组(119 h)分别缩短了 27 和 50 h;20 和 17℃ 处理组的鳃一室期分别为 144 和 170 h,分别比 23℃ 处理组延长 25 和 51 h。鳃一室期时间(Y)与温度(X)的回归方程为: $Y = -8.446 X + 313.5 (n=5, R^2=0.99, P < 0.001)$ 。

2.2 水温变化对鲢孵化率的影响

从低到高水温处理组的平均孵化率分别为 46.8%±19.9%、77.5%±6.5%、74.8%±7.0%、57.9%±12.3%、50.2%±15.8%(孵化率用均值±标准差来表示,下同)。水温变化对孵化率存在显著的影响($P < 0.01$,图 1),20、26、29℃ 处理组均与 23℃ 处理组没有显著的差异($P > 0.05$),但是最低水温处理组与 23℃ 处理组存在显著的差别($P < 0.05$)。这表明,以 23℃ 为基准,降幅在 3℃ 以内的水温变化对鲢孵化率没有显著的影响,但是降幅达到 6℃ 导致鲢孵化率急剧下降。

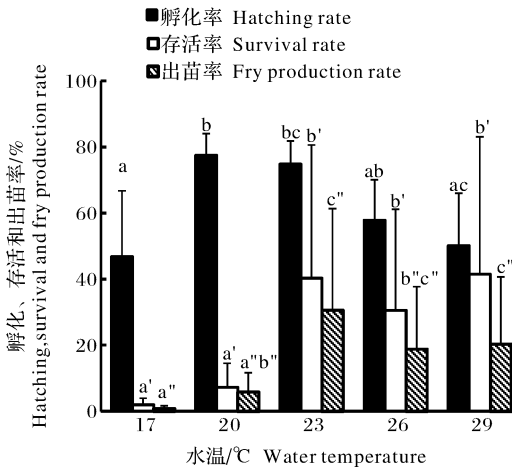
2.3 水温变化对鲢存活率的影响

17、20、23、26、29℃ 处理组的平均存活率分别为 2.0%±1.4%、7.3%±4.9%、40.3%±11.6%、30.6%±15.2%、41.5%±13.8%。与 23℃ 处理组

相比,水温升高 3 或 6 °C,对存活率没有显著的影响 ($P>0.05$),但温度降低 3 或 6 °C,对存活率产生了显著的影响 ($P<0.05$,图 1)。

2.4 水温变化对鲢出苗率的影响

17、20、23、26、29 °C 处理组的平均出苗率分别为 0.8%±0.6%、5.8%±4.3%、30.7%±11.3%、18.8%±13.3%、20.3%±8.5%。水温对出苗率的影响类似于存活率,水温升高 3 或 6 °C,对出苗率没有显著的影响 ($P>0.05$),但水温降低 3 或 6 °C,对出苗率产生了显著的影响 ($P<0.05$,图 1)。



同指标参数标不同字母的均值间有显著的差异 ($P<0.05$)。Different letters on the same style of bars denote statistically significant differences ($P<0.05$) among each mean value.

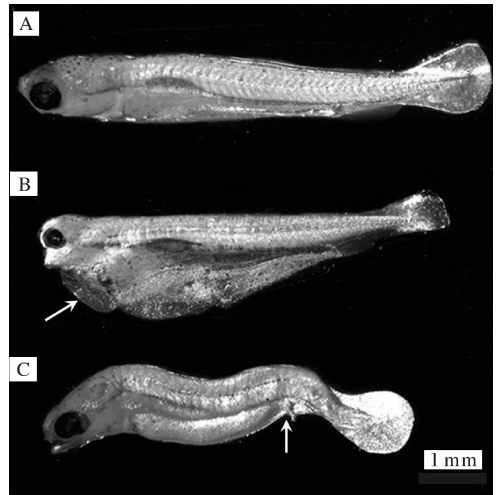
图 1 不同水温下鲢孵化率、存活率和出苗率

Fig. 1 Hatching rate, survival rate and fry production rate in silver carp when incubated at different water temperature

2.5 水温变化对仔鱼生长和畸形率的影响

试验结束时,17、20、23、26、29 °C 处理组的仔鱼平均全长分别是:7.00±0.51、7.47±0.07、7.72±0.02、7.36±0.14 和 7.46±0.04 mm。最低水温组仔鱼全长显著小于 23 °C 水温组 ($P<0.05$),而其他各个水温组之间没有显著的差异 ($P>0.05$)。

在存活的仔鱼中出现少数非正常形态的仔鱼,依据它们的形态特征,可以归纳为“心包肿大”和“脊椎弯曲”2 种类型(图 2,其中图 2A 为正常仔鱼)。前者心室周围出现不同程度的肿大和积水,腹部也发育异常(图 2B,箭头所示);后者主要在脊椎后部出现严重的弯曲(图 2C,箭头所示)。在水温 17 °C 时存活的仔鱼只有 5 尾,没有出现畸形的;其余 4 个水温组均出现畸形仔鱼(表 1)。畸形率与水温之间没有显著的相关性 ($r = 0.22, P = 0.43$)。



A: 正常仔鱼 Normal larva; B: 心包肿大仔鱼 Deformed larva with pericardial edema; C: 脊椎弯曲仔鱼 Deformed larva with notochordal bending.

图 2 鲢鳙一室期出现的畸形仔鱼

Fig. 2 Typical deformities of silver carp larvae at the formation of one-chamber air bladder

表 1 不同水温处理组鲢仔鱼畸形率

Table 1 Deformity rate of silver carp larvae when incubated at different water temperature

水温/°C Water temperature	存活的仔鱼数 No. of live larvae	畸形仔鱼数 No. of deformed larvae	畸形率/% Deformity rate
17	1	0	0.00
	3	0	0.00
	1	0	0.00
20	10	2	20.00
	21	1	4.76
23	4	0	0.00
	83	9	10.80
	38	4	10.50
26	63	5	7.90
	68	7	10.30
	18	0	0.00
29	27	0	0.00
	34	4	11.80
	60	1	1.70
	28	0	0.00

3 讨论

鱼类胚胎发育与水温密切相关。鱼类受精卵的孵化是一系列生理生化反应的过程,孵化酶在此过程中起着重要的作用^[16]。一般认为,孵化酶的分泌与作用均受温度的调控,通常情况下,低温抑制酶活

性,而过高的水温却会使酶失活。确定胚胎发育的适宜水温范围是鱼类苗种规模化繁育的关键参数。多年来,国内学者就水温对不同养殖鱼类胚胎发育的影响做了大量的研究^[13,17-20],发现不同鱼类对水温的敏感性存在较大的差异。郭永灿^[13]认为鲢和草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)胚胎孵化的适宜水温为 22~28℃,在该水温范围内,水温越高,胚胎发育的速度越快。本研究结果表明:在 17~29℃水温范围内,鲢胚胎发育速度随水温升高而加快;根据孵化率、存活率和出苗率综合评价,鲢早期发育的最适水温为 23~26℃,水温低于 20℃会对鲢人工繁殖生产造成严重的损失。因此,在生产实践中,应抓住有利的天气,基于适宜水温条件,开展鲢大规模繁殖生产,尽量避开倒春寒引起的低温冷害的影响。

在本研究中,温度变化的梯度为 3℃,采用这样的设置主要是基于以下考虑:首先,在长江中游地区,中等强度的冷空气引起的水温变幅为 2~3℃,高强度冷空气引起的水温变幅为 5~6℃;其次,在探讨水温对鱼类胚胎发育的影响时,许多研究设置温度变化的梯度为 3℃^[2-3,15]。本研究结果表明,不同水温处理对鲢胚胎孵化率、仔鱼存活率和孵化出苗率有着显著的影响,23℃处理组的鲢仔鱼存活率和出苗率是最高的,水温从 23℃升高 3~6℃对存活率和出苗率无显著的影响($P>0.05$),但是降低 3~6℃导致存活率和出苗率大幅度下降。这表明低水温对胚后发育的影响要大于高水温的影响。袁宗勤等^[19]的研究也表明低水温对斑马鱼(*Brachydanio rerio*)胚胎发育的影响要大于高水温的。赵明蓓等^[18]的研究显示水温效应主要作用于湘华鲮(*Sinilabeo decorus tungting*)胚胎发育的早期。这些研究表明,不同鱼类在胚胎发育的不同阶段对外界水温变化的响应存在一定的差异。

在本研究中,试验结束时最低水温组的鲢仔鱼几乎死亡,存活的特别少;除该水温组外,其余 4 个水温组均出现畸形的仔鱼,同一水温处理中不同重复的畸形率存在较大的差异(表 1),仔鱼畸形率与孵化水温没有显著的相关。但是,另有研究发现极高和极低水温条件下仔鱼畸形率较高^[15,21-23]。一般认为,质量差的受精卵孵出的仔鱼存活率较低,畸形率相对较高^[15]。本研究中,鲢受精卵是在亲本注射催产激素后通过人工授精获得的,存在质量较差的卵子或精子被催熟排出,从而导致一定比例的受精

卵质量差;这种情形可能掩盖了低温或高温对鲢仔鱼畸形率的影响,也可能是导致本研究中适宜水温组的孵化率(最高 74.8%)和存活率(41.5%)不高的主要原因。水温与鲢仔鱼畸形率关系的问题,还有待更深入探讨。

基于孵化率、存活率和出苗率数据的综合分析,鲢早期发育的最适水温为 23~26℃,水温从 23℃急剧升高 3~6℃不会对人工繁殖生产造成明显的负面影响,但水温从 23℃急剧下降 3~6℃会对人工繁殖生产造成严重的损失。本研究结果为制定鲢繁殖生产期间低温冷害的气象预报指标提供了重要的参数。

参 考 文 献

- [1] BLAXTER J H S. The effect of temperature on larval fishes [J]. Netherlands Journal of Zoology, 1992, 42(2/3): 336-357.
- [2] NWOSU F M, HOLZLOHNEV S. Influence of temperature on eggs hatching, growth and survival of larvae of *Heterobranchus longifilis* Val. 1840 (Teleostei: Clariidae) [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2000, 16(1): 20-23.
- [3] HART P R, PURSER G J. Effects of salinity and temperature on eggs and yolk sac larvae of the greenback flounder (*Rhombosolea tapirina* Günther, 1862) [J]. Aquaculture, 1995, 136: 221-230.
- [4] LEGENDRE M, TEUGELS G G. Development and thermal tolerance of eggs in *Heterobranchus longifilis* and comparison of larval development of *H. Longifilis* and *Clarias gariepinus* (Teleostei, Clariidae) [J]. Aquatic Living Resources, 1991, 4(4): 227-240.
- [5] HAMEL P, MANGAN P, EAST P, et al. Comparison of different models to predict the in situ embryonic development rate of fish with special reference to white sucker (*Catostomus commersoni*) [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1997, 54(1): 190-197.
- [6] EL-GAMAL A E E. Effect of temperature on hatching and larval development and mucin secretion in common carp, *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758) [J]. Global Veterinaria, 2009, 3(2): 80-90.
- [7] JOBLING M. Bioenergetics, food intake and energy partitioning [C] // RANKIN J E, JANSEN F B. Fish eco-physiology. London: Chapman and Hall, 1993: 1-44.
- [8] 孙恒志, 李丽珍. 草鱼和鳊鱼人工繁殖可行温度 [J]. 淡水渔业, 1992(1): 29-30.
- [9] LEIN I, HOLMEFJORD I, RYE M. Effects of temperature on yolk sac larvae of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) [J]. Aquaculture, 1997, 157(1/2): 123-135.
- [10] HEMPEL G. The early life history of fish [C] // BLAXTER J

- H S. Summing up of symposium on the early life history of fish. Berlin:Springer-Verlag,1974:755-760.
- [11] HERZIG A, WINKLER H. The influence of temperature on the embryonic development of three Cyprinid fishes, *Abramis brama*, *Chalealburnus chalcoides mento* and *Vimba vimba* [J]. *Journal of Fish Biology*, 1986, 28(2):171-181.
- [12] 易伯鲁, 余志堂, 梁秩桑, 等. 葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼 [M]. 武汉:湖北科学技术出版社, 1988:57, 79-100.
- [13] 郭永灿. 水温对鲢鱼、草鱼胚胎发育的影响[J]. *淡水渔业*, 1982(3):35-40.
- [14] 姜礼燔, 曹萃禾. 热污染对草鱼、鲢鱼胚胎发育的影响[J]. *中国环境科学*, 1984, 4(6):40-45.
- [15] OKAMURA A, YAMADA Y, HORIE N, et al. Effects of water temperature on early development of Japanese eel *Anguilla japonica* [J]. *Fisheries Science*, 2007, 73(6):1241-1248.
- [16] 楼允东. 鱼类的孵化酶[J]. *动物学杂志*, 1965, 7(3):97-101.
- [17] 钟麟, 李有广, 张枪涛, 等. 家鱼的生物学和人工繁殖[M]. 北京:科学出版社, 1965:55.
- [18] 赵明蓊, 黄文郁, 王祖熊. 温度对于湘华鲮胚胎与胚后发育的影响[J]. *水产学报*, 1982, 6(4):345-350.
- [19] 袁宗勤, 于燕光, 丛日浩, 等. 温度对斑马鱼胚胎发育的影响研究[J]. *现代农业科学*, 2009, 16(4):188-189, 220.
- [20] 刘伟成, 冀德伟, 单乐州, 等. 温度和盐度对条石鲷胚胎发育的影响[J]. *水生态学杂志*, 2010, 3(6):101-104.
- [21] BOLLA S, HOLMEFJORD I. Effect of temperature and light on development of Atlantic halibut larvae [J]. *Aquaculture*, 1988, 74(3/4):355-358.
- [22] WANG L H, TSAI C L. Effects of temperature on the deformity and sex differentiation of tilapia, *Reochromis mossambicus* [J]. *Journal of Experimental Zoology*, 2000, 286(5):534-537.
- [23] TAKLE H, BAEVERFJORD G, LUNDE M, et al. The effect of heat and cold exposure on *HSP70* expression and development of deformities during embryogenesis of Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Aquaculture*, 2005, 249(1/2/3/4):515-524.

Effects of water temperature on early development of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix*

TANG Li-jun^{1,2} ZHANG Xiao-fan^{1,2} ZHANG Tang-lin¹
LI Zhong-jie¹ LIU Jia-shou¹ CHENG Qing-wu³

1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Niushan Lake Farm of Jiangxia District, Wuhan 430205, China

Abstract The effects of different water temperatures (17, 20, 23, 26 and 29 °C) on the embryonic development speed, hatching, survival and fry production rates of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* were investigated in this study. Meanwhile, the relationships between both growth and deformity rate of the larvae and water temperature were also analyzed. The embryonic development time decreased and development speed accelerated with the increasing water temperature. The hatching, survival and fry production rates were significantly affected by different water temperatures (ANOVA, $P < 0.01$). The survival and fry production rates at 17 and 20 °C were significantly lower than those at 23 °C ($P < 0.05$), whereas were not significantly different at 26 and 29 °C from those at 23 °C ($P < 0.01$). At the end of this experiment, the averaged total length of the larvae at 17 °C was significantly lower than that at 23 °C, but not different from those at 20, 26 and 29 °C. Moreover, the deformity of the larvae occurred in all groups and there was no significant correlation between deformity rate and water temperature. The results indicated that the optimal water temperature for early development of silver carp is 23-26 °C, the increase of 3-6 °C would not affect the artificial reproduction of the carp, while a sharp decline of 3-6 °C would cause seriously negative influence on the reproduction of the carp.

Key words *Hypophthalmichthys molitrix*; early development; survival; deformity; water temperature

(责任编辑:边书京)