

한국 고유종 미유기 (*Silurus microdorsalis* Mori, 1936)의 난 발생 및 자치어 형태발달

김강래 · 광영호¹ · 성무성² · 양현³ · 조성장⁴ · 윤봉한² · 방인철^{2,*}

국립낙동강생물자원관, ¹국립수산과학원 중앙내수면연구소, ²순천향대학교 생명시스템학과,
³생물다양성연구소(주), ⁴보령민물생태관

Embryonic and Larval Development of Slender Catfish, *Silurus microdorsalis* Mori, 1936, Endemic to Korea by Kang-Rae Kim, Yeong-Ho Kwak¹, Mu-Sung Sung², Heon Yang³, Seong-Jang Cho⁴, Bong Han Yun² and In-Chul Bang^{2,*} (Animal & Plant Research Department, Nakdonggang National Institute of Biological Resources, Sangju 37242, Republic of Korea; ¹Inland Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Geumsan 32762, Republic of Korea; ²Department of Life Science & Biotechnology, Soonchunhyang University, Asan 31538, Republic of Korea; ³Institute of Biodiversity Research, Jeonju 54904, Republic of Korea; ⁴Boryeong Freshwater Eco Center, Boryeong 33416, Republic of Korea)

ABSTRACT The early life history of *Silurus microdorsalis* living in Jahocheon Stream was studied by observing egg and morphological development. Live fish were captured in June 2018, then reared in a circulating filtration system under a 14L:10D photoperiod with a water temperature of 18°C. To artificially induce spawning, females were injected with 0.5 mL of Ovaprim (Syndel, Nanaimo, BC, Canada) per kg of body weight, and males were injected with 10,000 IU/kg body weight of human chorionic gonadotropin. Approximately 15 h later, eggs were artificially inseminated by the dry method. Mature eggs were light pale yellow, which separated them from immature eggs. Fertilized eggs were 2.16 ± 0.06 mm ($n=8$) in diameter and fully hatched at 181 h after fertilization. The fertilization rate was $63.1 \pm 2.2\%$, and $10.0 \pm 3.7\%$ of the embryos were malformed at 18°C. The rates of development were 181 h at 18°C, 109 h at 21°C, and 76 h at 24°C. The larval size immediately after hatching was 4.64 ± 0.22 mm ($n=8$), and the larvae displayed negative phototaxis at 1 day after hatching. The total larval length on 7 days after hatching was 12.47 ± 0.53 mm, with 25~30 basal anal fin rays and 14~16 basal caudal fin rays observed. The total larval length was 14.13 ± 0.51 mm on 9 days after hatching, and approximately 90% of the black endoplasmic reticulum was deposited on the head and body. The dorsal fin had formed, and a single basal body was observed. On 15 days after hatching, the total larval length was 16.69 ± 0.31 mm; the number of basal caudal fin rays (18 poles) was an integer because 2 dorsal fin basal rays and 60~63 anal fin basal rays were observed. The total larval length was 28.96 ± 1.10 mm on 50 days after hatching; the numbers of caudal fins ($n=18$), dorsal fins ($n=3$), pectoral fins ($n=11$), and anal fin basal rays ($n=67\sim73$) were integers.

Key words: *Silurus microdorsalis*, egg development, early life history, endemic species

서 론

저자 직위: 김강래(사원), 광영호(박사 후 연구원), 성무성(대학원생), 양현(소장), 조성장(관장), 윤봉한(대학원생), 방인철(교수)
*Corresponding author: In-Chul Bang Tel: 82-41-530-1286, Fax: 82-41-530-1286, E-mail: incbang@sch.ac.kr

우리나라 메기속 *Silurus* 어류는 미유기 *Silurus microdorsalis*와 메기 *Silurus asotus* 2종만이 서식하고 있다(Park and Kim, 2005). 미유기는 한국의 모든 하천과 강에 분포하는 고유

종으로 주로 물이 맑고 하상이 자갈로 이루어진 하천의 중 상류에 서식하며, 수서곤충과 작은 어류 등을 섭식한다(Park and Kim, 2005).

어류의 난 발생과 자치어 발달에 대한 연구는 기초 생물학적 연구이다(Fujimura and Okada, 2007). 미유기의 연구는 한국 고유종 미유기의 골격적 연구(Lee and Kim, 1987), 미유기(*S. microdorsalis*)의 완전한 mitogenome 연구(Park *et al.*, 2020), 한국 고유종 미유기의 연간 생식 주기(Ki and Lee, 2018), 계통을 고려한 미유기 정자의 미세구조(Lee and Kim, 2001)에 대한 연구가 보고된 바 있다. 난 발생과 초기생활사에 대한 연구는 종의 특성과 분류학적 유연관계를 밝히는 데 중요하다. 그러나, 현재 미유기에 대한 난 발생 및 초기생활사에 대한 연구는 이루어지지 않았다.

경기도해양수산자원연구소는 미유기를 경기도보호종으로 지정하고 수산자원 조성과 종 보호를 목적으로 방류한 바 있다. 종묘생산에서 어류의 난 발생과 같은 기초 연구에 대한 부족은 자원의 생산과 종 보호 등이 효율적으로 진행되기 어렵다.

어류의 종묘생산에서 중요한 것 중 하나는 사육장에서의 성숙 유도 및 난 발생 및 자치어의 발달 온도, 먹이에 대한 지식이 부족한 문제이다(Mahalder *et al.*, 2023). 이러한 기술 및 학문적 지식의 부재는 사육장에서 치어의 폐사율이 높으며, 결과적으로 원하는 양의 치어 생산이 어렵게 된다(Parvez *et al.*, 2018).

또한, 난 발생 및 자치어의 발달에 대한 생물학적 지식의 부재는 기후변화에 따른 수온의 영향으로 약 냉수성 어류인 미유기의 종 보호를 어렵게 만들어, 종 보전을 위한 발달 생물학적 지식이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서 미유기의 인공 수정을 통해 난 발생 및 초기생활사에 대한 연구를 수행하여 수온에 따른 난 발생 및 부화율과 기형률을 조사하고, 인공증식 및 종의 보전을 위한 기초자료로서 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 친어 확보 및 사육관리

본 연구에 사용한 미유기 *Silurus microdorsalis* 친어는 2018년 6월 경상북도 영천시 임고면 덕연리 자호천(36°2'40.31"N, 128°58'50.57"E) 일대에서 일각망(망목 4×4 mm)을 이용하여 10개체를 채집하였다. 채집한 친어는 성숙한 암컷($n=6$)·수컷($n=4$) 개체를 포장용 비닐에 산소포장 후 실험실로 운반하여 120×60×60 cm 수조에 수용하고 수온은 18±1°C로 유지하였다. 친어는 순환여과식 방법으로 120×60×60 cm 수조에서 18±1°C를 유지하여 2018년 6월 중순부터 2019년 1월까지 약 7개월간 관리하였으며, 2019년 2월에 수온 20±1°C, 광주기 14L:10D로 조절하였고, 먹이 공급은 냉동먹이와 배합사료를 오

전, 오후로 나누어 1일 2회씩 공급하였다.

2. 성숙 유도

2019년 3월에 성숙한 개체의 선별을 위해 암컷의 복부가 팽대한 4개체를 선별 후 성숙 및 산란을 유도하기 위해 Ovaprim (Syndel, Canada)을 어체중 1 kg당 0.5 mL를 복부에 주사하고 15시간 경과 후 복부 압박법으로 페트리디쉬에 채란하였다. 수컷은 생식기가 돌출되어 있는 1개체를 선별하여 어체의 등근육에 HCG (Daesung, Korea)를 어체중 1 kg당 10,000 IU를 주사하여 7시간 경과 후, 복부를 절개하여 정소를 적출하고 생리식염수에 담가 희석한 후, 희석액을 난에 뿌리고 건식법을 이용하여 인공 수정하였다.

3. 난 발생 및 자치어 관찰

미유기 수정란의 난 발생 관찰은 수온 18±1°C가 유지되는 공간에서 수행되었으며, 매일 아침, 저녁 총 2회씩 페트리디쉬의 1/2 높이를 환수하였다.

난과 자치어의 관찰은 실체현미경 (Motic SMZ171, USA)을 이용해 10~50배로 관찰하였고 자치어의 형태는 실체현미경에 연결된 디지털카메라(Olympus SZX9, Japan)와 실체현미경(Olympus DP72, Japan)을 이용해 촬영하였다. 수정란 발달단계 구분은 Kimmel *et al.* (1995)을 참고하였고, 자치어의 발달 과정은 무작위로 최소 8개체 이상씩 선정해 MS-222 (Syndel, Canada)를 이용하여 마취 후 관찰하였으며, 관찰이 끝난 개체는 다음 관찰을 위해 수조에 넣어주었다.

수온이 난 발생에 미치는 영향을 조사하기 위해 성숙도지수를 바탕으로 추정된 산란시기 수온인 21°C를 기준(Ki and Lee, 2018)으로 18°C, 21°C, 24°C 3개 실험구를 설정하였으며, 각 실험구별 수정란을 페트리디쉬에 평균 120개씩 수용하여 조사하였다.

4. 통계처리

부화율 및 기형률 결과에 대한 통계처리는 SPSS 통계 패키지 프로그램 ver. 12.0을 이용하여 one-way ANOVA test와 Duncan's test로 평균 간의 유의성을 검정하였다($P<0.05$).

결 과

1. 친어 및 난의 특징

산란에 이용한 성숙한 미유기의 암컷($n=3$)은 평균 전장 183±10.60 mm, 평균 체중 65.42±11.78 g이었으며, 수컷은 172.0 mm, 45.0 g이었다. 산란한 난의 평균 개수는 950±205

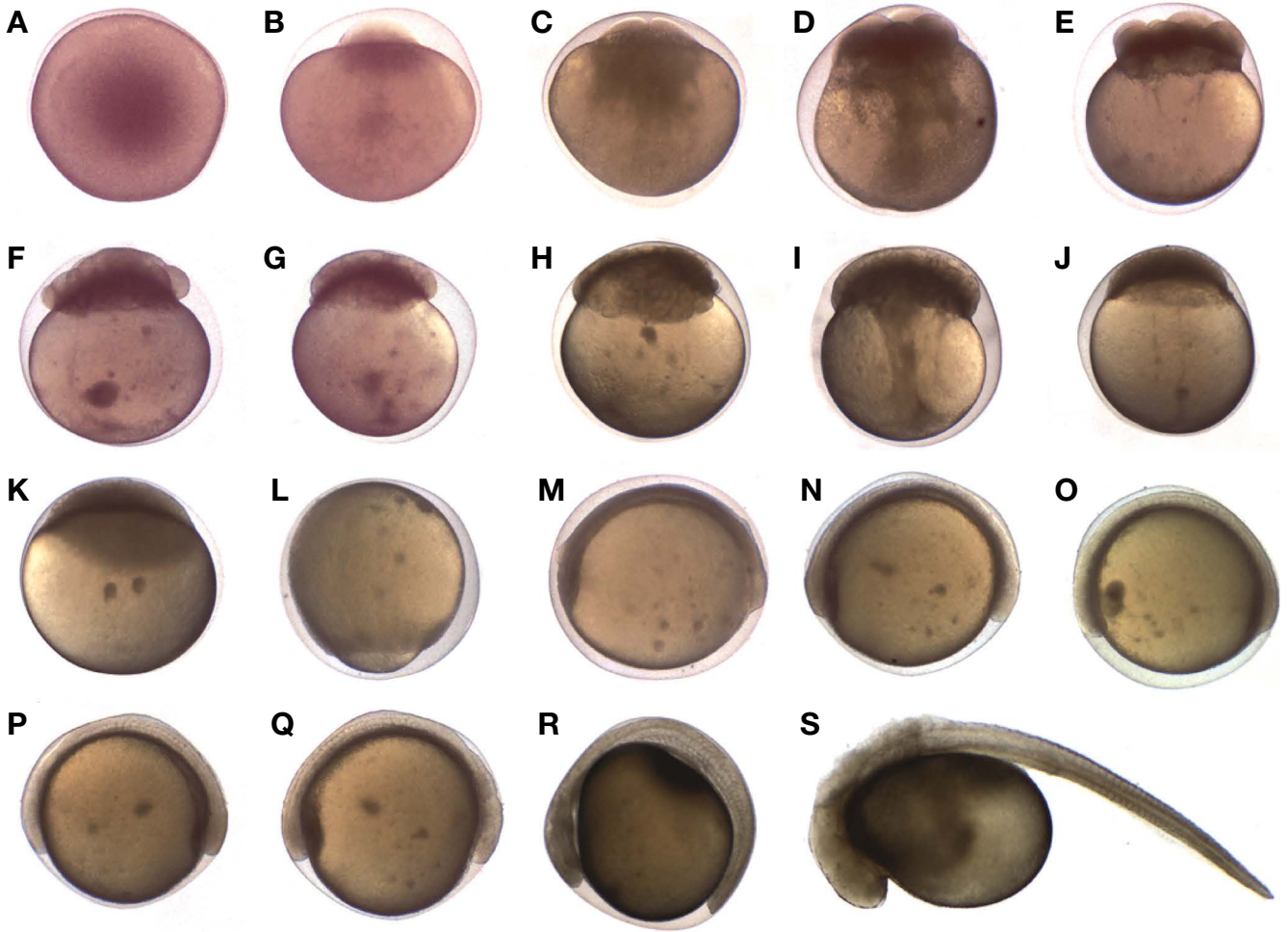


Fig. 1. *Silurus microdorsalis* eggs at a water temperature of 18°C. Each developmental stage is indicated alphabetically and is shown in Table 1.

(817~1187)개였으며, 성숙란(n=29)의 크기는 2.00 ± 0.05 (1.86~2.08) mm였으며, 젤라틴층을 포함한 난(n=29)의 크기는 3.68 ± 0.14 (3.52~3.87) mm였다. 미유기의 성숙란은 연한 담황색의 원반형으로 약한 점착성이 있으며, 성숙란의 표면에 점막 덩어리의 젤라틴층으로 둘러싸인 분리 침성란이었다.

2. 난 발생 과정

1) 세포질 응집기(Zygote period)

수정란은 수정 후 30분에 물을 흡수하기 시작하였으며 수정란(n=8)의 크기는 2.16 ± 0.06 (2.04~2.24) mm로 팽창하였으며, 젤라틴층을 포함한 수정란(n=8)의 크기는 4.65 ± 0.26 (4.03~4.99) mm로 팽창하였다(Fig. 1A). 수정 후 1시간 20분에 배반(blastodisc)이 형성되었다(Fig. 1B).

2) 난할 형성기(Cleavage period)

수정 후 2시간 20분에는 배반에 난할이 일어나 2개의 할구를

형성하여 2세포기로 이행되었다(Fig. 1C). 수정 후 3시간 30분에 2개의 할구는 경할이 진행되어 4세포기로 이행되었고(Fig. 1D), 수정 후 4시간 30분에는 8세포기(Fig. 1E), 수정 후 5시간 50분에는 경할이 진행되어 16세포기로 이행되었다(Fig. 1F). 수정 후 7시간 20분에는 난할이 진행되어 32세포기로 이행되었고(Fig. 1G), 수정 후 8시간 40분에 64세포기로 이행되었다(Fig. 1H).

3) 포배 형성기(Blastula period)

수정 후 10시간 40분에 난할이 진행되면서 할구의 크기는 지속적으로 감소하여 상실기(morula, 256세포기)에 도달하였고(Fig. 1I), 수정 후 12시간 40분에 난할이 진행되어 포배기(blastula)에 도달하였다(Fig. 1J).

4) 낭배 형성기(Gastrula period)

수정 후 24시간에 낭배(gastrulation)가 형성되면서 식물극(vegetal pole)의 30% 이상을 덮어 초기 낭배(early gastrulation)

Table 1. *Silurus microdorsalis* egg development at 18 ± 1°C

Developmental stage	Elapsed time after fertilization (h : min)	Characters
Zygote period		Sperm and eggs inseminated
Insemination	00 : 00	
Swelling	00 : 30	Swelling
Blastodisc	01 : 20	Blastodisc
Cleavage period		
2 cells	02 : 20	2 blastodisc cleavage
4 cells	03 : 30	2-2 array of blastomeres
8 cells	04 : 30	2-4 array of blastomeres
16 cells	05 : 50	4-4 array of blastomeres
32 cells	07 : 20	4-8 array of blastomeres
64 cells	08 : 40	8-8 array of blastomeres
Blastula period		
Morula (256 cells)	10 : 40	16 regular tiers of blastomeres
Blastula	12 : 40	Flattening produces an elliptical shape
Early gastrulation	24 : 00	Early gastrulation (30%)
Late gastrulation	36 : 00	Late gastrulation (90%)
Embryonic period		
Embryo formation	41 : 00	Embryo formation
3~4 myotomes	44 : 30	3~4 myotomes
8~9 myotomes	49 : 30	8~9 myotomes
12~15 myotomes	54 : 30	12~15 myotomes
20 myotomes	59 : 00	20 myotomes
> 50 myotomes	76 : 00	> 50 myotomes
Hatching period		
	98 : 00	Hatching start
Hatching	128 : 30	Hatching 50%
	181 : 00	Hatching complete

에 도달하였고(Fig. 1K), 수정 후 36시간에 식물극의 90% 이상을 덮어 말기 낭배(late gastrulation)에 도달하였다(Fig. 1L).

5) 배체 형성기(Embryonic period)

수정 후 41시간에 원구가 닫히면서 난황 위에 위치한 배체(embryo)의 윤곽이 뚜렷해져 배체가 형성되었고(Fig. 1M), 수정 후 44시간 30분에 근절(myotomes)이 3~4개가 형성되었다(Fig. 1N). 수정 후 49시간 30분에 근절이 8~9개 형성되었고, 안포(optic vesicle)가 형성되었다(Fig. 1O). 수정 후 54시간 30분에 근절이 증가하여 12~15개가 형성되었고(Fig. 1P), 수정 후 59시간에 근절이 증가하여 20개가 형성되었으며, 이포(auditory vesicle)가 형성되었다(Fig. 1Q). 수정 후 76시간에 근절이 증가하여 50개 이상 형성되었고, 심장이 형성되었으며, 렌즈(lens)가 형성되었고, 가슴지느러미 원기가 생성되었으며, 난막 내에서 꼬리가 길게 신장되어 좌우로 운동하였다(Fig. 1R).

6) 부화기(Hatching period)

수정 후 98시간에 꼬리를 이용해 머리 부분의 난막을 뚫고 부화가 시작되었으며, 난 외부를 보호하고 있는 젤라틴층이 소멸되기 시작하였다. 수정 후 139시간 30분에 수정란의 50%가 부화되었고, 수정 후 181시간에 완벽하게 부화가 완료되었다(Fig. 1S).

3. 자어 및 치어의 형태발달

1) 난황 자어기(Yolksac larvae)

부화 직후 자어는 전장 4.64 ± 0.22 (4.25~4.88) mm (n=8) 크기로 몸이 투명한 색을 띠었으며 S자로 구부러진 형태였다. 난황은 머리 아래쪽에 위치하였으며, 구형이었고 항문이 형성되어 있었으나 아직 완전히 열리지 않았으며, 난황 아래쪽의 꼬리 부분에서 심장으로부터 전달된 혈액의 흐름이 관찰되었다(Fig. 2A).

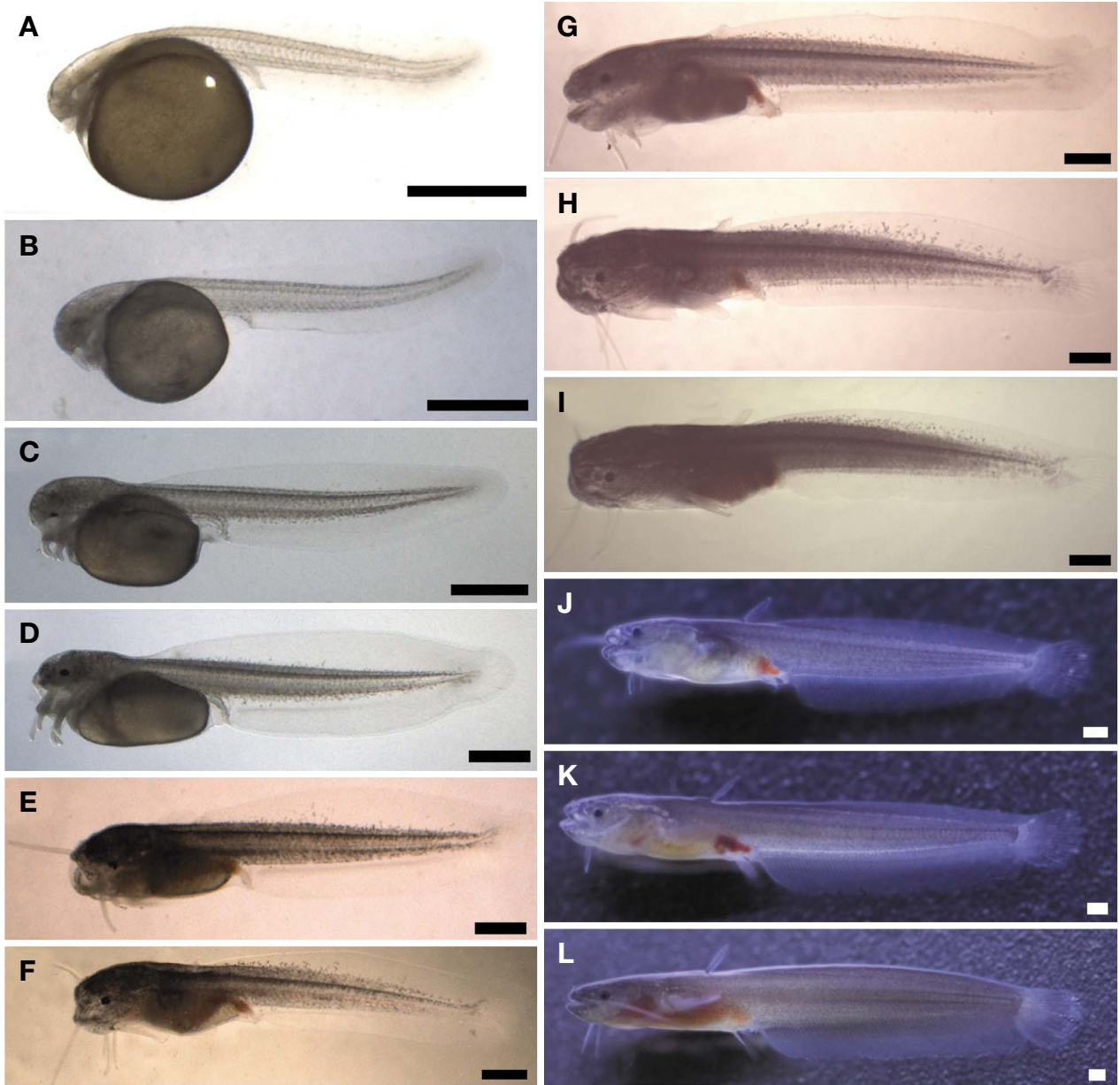


Fig. 2. Larvae of *S. microdorsalis* from Jahoecheon Stream, Korea. A: Immediately after hatching. B: 1 day after hatching. C: 2 days after hatching. D: 4 days after hatching. E: 5 days after hatching. F: 7 days after hatching. G: 9 days after hatching. H: 13 days after hatching. I: 15 days after hatching. J: 15 days after hatching. K: 30 days after hatching. L: 50 days after hatching. Scale bars represent 1.0 mm.

부화 후 1일째 자어는 전장 6.39 ± 0.22 mm ($n=8$)로 체색은 투명하였으나 몸 표면에 흑색 소포체가 침착이 있었으며, 외부 빛의 자극에 회피 반응(negative phototaxis)을 보였다(Fig. 2B). 부화 2일째는 전장 7.60 ± 0.19 mm ($n=8$)로 난황이 2/3로 줄었고 항문은 아직 열리지 않았으며, 수염은 3쌍이 관찰되었으며 각 수염의 길이는 비슷하였다(Fig. 2C). 부화 4일째는 전장 9.16 ± 0.12 mm ($n=8$) 크기로 난황이 1/2로 줄었고 가슴지느러미가 길게 신장되었으며, 항문이 열리면서 알테미아 유생을 섭취하였고, 꼬리지느러미 원기가 생성되어 몸의 표면과 배까지 흑색 소포

체가 침착되었다(Fig. 2D). 부화 5일째는 전장 10.07 ± 0.10 mm ($n=8$)로 머리와 체측에 50%가량 흑색 소포체가 침착되었고 등지느러미 원기가 생성되었다(Fig. 2E).

2) 전기 자어기(Preflexion larvae)

부화 7일째는 전장 12.47 ± 0.53 mm ($n=8$)로 뒷지느러미 기조는 25~30개, 꼬리지느러미 기조는 14~16개가 관찰되었으며 난황이 모두 흡수되었다(Fig. 2F).

3) 중기 자어기(Flexion larvae)

부화 9일째는 전장 14.13 ± 0.51 mm (n=8)로 머리와 몸에 흑색 소포체가 90%가량 침착되었고, 등지느러미가 생성되어 기조가 1개가 관찰되었으며, 척색 말단이 위로 휘어지기 시작하였고 상악 수염의 길이가 3.1~3.2 mm (n=3)로 신장되었다(Fig. 2G). 부화 13일째는 전장 15.92 ± 0.15 mm (n=8)로 등지느러미의 막이 분리되며, 등지느러미 기조 1개가 형성되었다(Fig. 2H).

4) 후기 자어기(Postflexion larvae)

부화 15일째는 전장 16.69 ± 0.31 mm (n=8)로 꼬리지느러미 기조(18개)가 정수로 나타났으며 등지느러미 기조는 2개, 뒷지느러미 기조는 60~63개가 관찰되었다(Fig. 2I, 2J). 부화 30일째는 전장 21.70 ± 1.52 mm (n=8)로 꼬리지느러미(18개), 등지느러미(3개), 가슴지느러미(11개), 뒷지느러미 기조(65~67개)로 나타났으며, 척색 말단은 45°C로 완전히 휘어졌고, 등쪽에서 꼬리지느러미까지 몸 표면에 흑색 소포가 완전히 덮였으며, 하악 수염 2쌍 중에 1쌍이 퇴화하였고, 가슴지느러미 주변에 흑색 소포체가 일부 침착되었으며, 배는 내부 소화관이 보여 투명하였고 흑색 소포가 일부 침착되었으며 유영이 활발하였다(Fig. 2K).

5) 치어기(Juvenile)

부화 50일째는 전장 28.96 ± 1.10 mm (n=8)로 꼬리지느러미(18개), 등지느러미(3개), 가슴지느러미(11개), 뒷지느러미 기조(67~73개)가 정수로 나타나 치어기로 이행하였으며, 상악 수염의 길이가 신장되었고, 등지느러미와 꼬리지느러미 사이의 막지느러미가 점점 감소하며 최종적으로 사라졌고, 뒷지느러미에 흑색 소포체가 침착되었으며, 머리부터 꼬리까지 흑색 소포체가 더욱 조밀하게 형성되어 성어와 외형적 특징이 유사하였다(Fig. 2L).

4. 자치어 성장

부화자어의 전장은 4.64 ± 0.22 mm, 부화 후 1일에 전장은 6.37 ± 0.28 mm, 부화 후 2일에 전장은 7.64 ± 0.17 mm, 부화 후 3일에 전장은 8.57 ± 0.19 mm, 부화 후 4일에 전장은 9.15 ± 0.12 mm, 부화 후 5일에 전장은 10.23 ± 0.33 mm, 부화 후 6일에 전장은 11.04 ± 0.18 mm, 부화 후 7일에 전장은 12.47 ± 0.47 mm, 부화 후 8일에 전장은 13.26 ± 0.15 mm, 부화 후 전장은 9일에 14.13 ± 0.47 mm, 부화 후 10일에 전장은 14.72 ± 0.04 mm, 부화 후 15일에 전장은 17.23 ± 0.54 mm, 부화 후 전장은 30일에 21.7 ± 1.52 mm, 부화 후 전장은 50일에 28.96 ± 1.10 mm, 부화 후 65일에 전장은 34.1 ± 3.45 mm로 성장하였으며, 전장 초기의 성장식은 $Y = 0.0002X^3 - 0.0226X^2 + 1.0947X + 5.3871$ 로 결정계수(R^2)의 값은 0.9949로 나타났다(Fig. 3).

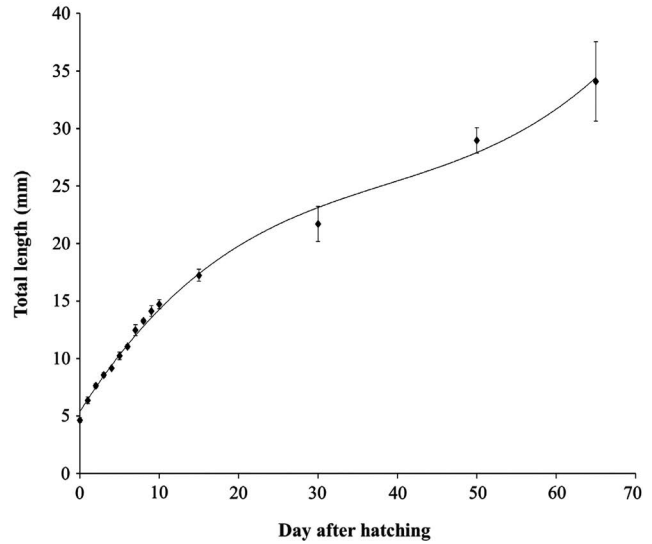


Fig. 3. Early total length growth curve of *Silurus microdorsalis* after hatching at 21°C ($Y = 0.0002X^3 - 0.0226X^2 + 1.0947X + 5.3871$ and $R^2 = 0.9949$).

Table 2. Egg development hatching and deformity rates of *Silurus microdorsalis* according to water temperature

Developmental stage	Elapsed time after fertilization (hr : mins)		
	18°C	21°C	24°C
Blastula	12 : 40	10 : 00	07 : 10
Formation of the embryo	41 : 00	28 : 00	19 : 40
< 50 myotomes	76 : 00	50 : 00	36 : 00
Hatching (50% complete)	128 : 30	92 : 00	68 : 30
Hatching (complete)	181 : 00	109 : 00	76 : 00
Hatching rate (%)	63.1 ± 2.2 ^a	37.6 ± 5.7 ^b	7.3 ± 0.5 ^c
Deformity rate (%)	10.0 ± 3.7 ^a	22.8 ± 11.6 ^b	40.8 ± 5.5 ^b

^{a, b, c}: ANOVA test results show significant differences.

5. 수온별 발생속도

미유기의 각 수온별 발생단계에 이르는 시간은 Table 2와 같이 나타났다. 수정 후 포배기까지 도달하는 시간은 18°C에서 12시간 40분, 21°C에서 10시간, 24°C에서 7시간 10분이 소요되었다. 배체 형성까지 도달하는 시간은 18°C에서 41시간, 21°C에서 28시간, 24°C에서 19시간 40분이 소요되었다. 근절이 50개 이상 형성되는 시간은 18°C에서 76시간, 21°C에서 50시간, 24°C에서 36시간이 소요되었다. 부화가 완료되는 시간은 18°C에서 181시간, 21°C에서 109시간, 24°C에서 76시간으로 수온이 높을수록 소요되는 시간이 짧아지는 경향이였다.

위의 결과를 바탕으로 수온에 따라 각 발생단계별 소요시간을 함수식으로 나타내었다(Fig. 4). Fig. 4의 X축은 수온(T:

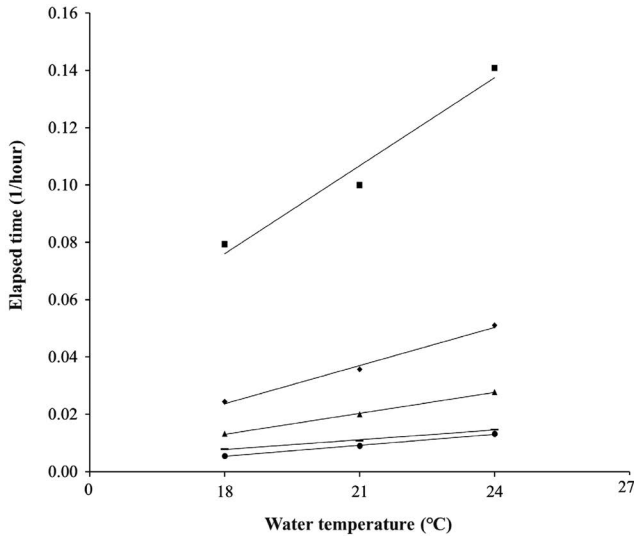


Fig. 4. Time required for each development stage at three different water temperatures (◆; blastula stage: $1/t=0.0102T-0.1084$ and $R^2=0.9652$, ■; embryo formation stage: $1/t=0.0044T-0.0562$ and $R^2=0.9926$, ▲; <50 myotomes: $1/t=0.0024T-0.0309$ and $R^2=0.9986$, ×; hatching (50% complete): $1/t=0.0011T-0.0128$ and $R^2=0.9971$, ●; hatching (100% complete): $1/t=0.0013T-0.0174$ and $R^2=0.9994$).

temperature), Y축은 발생단계별 소요시간(t : hour)의 역수를 나타내며, 수온과 발생단계별 소요시간의 관계식은 다음과 같았다.

포배기: $1/t=0.0102T-0.1084$ ($R^2=0.9652$)

배체 형성기: $1/t=0.0044T-0.0562$ ($R^2=0.9926$)

근절 형성기 (<50개): $1/t=0.0024T-0.0309$ ($R^2=0.9986$)

부화기(50% 완료): $1/t=0.0011T-0.0128$ ($R^2=0.9971$)

부화기(100% 완료): $1/t=0.0013T-0.0174$ ($R^2=0.9994$)

위의 관계식을 바탕으로 Y축의 값이 0일 때 X축에 회귀직선이 접하는 값의 수온은 미유기의 초기 난 발생이 진행되지 않는 생물학적 영도로 평균 12.2°C로 추정되었다.

6. 부화율 및 기형률

각 수온별 부화율은 18°C에서 $63.1 \pm 2.2\%$, 21°C에서 $37.6 \pm 5.7\%$, 24°C에서 $7.3 \pm 0.5\%$ 로 18°C, 21°C, 24°C 실험구 간에 유의한 차이를 보였으며 ($P < 0.05$), 18°C에서 가장 높은 부화율을 나타냈다. 기형률은 18°C에서 $10.0 \pm 3.7\%$, 21°C에서 $22.8 \pm 11.6\%$, 24°C에서 $40.8 \pm 5.5\%$ 로 18°C와 21°C 실험구 간에 유의한 차이가 없었으나 ($P > 0.05$), 18°C, 21°C와 24°C 실험구 간에 유의하게 높은 값을 보였으며 ($P < 0.05$), 18°C에서 가장 낮은 기형률을 나타냈다. 기형의 형태는 꼬리가 생성되지 않아 길이가 짧은 형태, 척추가 휘어진 형태가 대부분이었다.

고찰

미유기의 성숙란은 표면에 점막 덩어리의 젤라틴층으로 둘러싸여 있는 분리 침성란으로 메기와 같이 점막 덩어리의 젤라틴층을 가져 유사하였다(Mun *et al.*, 2017). 미유기의 성숙란은 난경은 2.00 ± 0.05 mm로 메기목 근연종들과 비교하면, 메기는 1.66 ± 0.05 mm(Mun *et al.*, 2017), 동자개 *Pseudobagrus fulvidraco*는 1.70 ± 0.08 mm(Kang and Lee, 1996)로 미유기 난경 크기에 비해 작은 것으로 나타났으며, 꼬치동자개 *P. brevicorpus*는 1.99 mm로(Kang *et al.*, 2007) 미유기와 난경 크기가 유사하였다. 메기목의 자가사리 *Liobagrus mediadiposalis*는 3.27 mm(Choi *et al.*, 2008), 종어 *L. obesus*는 3.30 mm(Seo *et al.*, 2006), 대농갱이 *Leiocassis ussuriensis*는 2.36 ± 0.11 mm(Park *et al.*, 2015), 눈동자개 *P. koreanus*는 2.59 ± 0.08 mm(Kang, 1998)로 난경은 미유기에 비해 큰 편이었다(Table 3). 미유기 부화자어 크기는 4.64 ± 0.22 mm였고, 동자개의 부화자어 크기는 4.20~4.30 mm(Kang, 1998)로 미유기와 비슷하였으며, 메기의 부화자어 크기는 3.62 ± 0.03 mm(Mun *et al.*, 2017)로 미유기에 비해 작은 것으로 나타났고, 꼬치동자개는 5.90 ± 0.20 mm(Kang *et al.*, 2007), 자가사리는 7.18~7.39 mm(Choi *et al.*, 2008), 종어는 7.30~7.90 mm(Seo *et al.*, 2006), 대농갱이는 6.40 ± 0.06 mm(Park *et al.*, 2015), 눈동자개 *P. koreanus*는 5.41~6.01 mm(Kang, 1998)로 미유기의 부화자어에 비해 컸다.

어류의 초기 발달은 수온과 난의 크기에 영향을 받으며 일반적으로 난경이 증가하면 부화시간이 길어지고 자어의 크기도 증가한다(Pepin, 1991; Pepin *et al.*, 1997). 미유기는 수온 24°C에서 절반(50%) 부화에 소요되는 시간이 68시간 30분이었으며, 메기는 수온 23.0~25.0°C에서 절반 부화에 소요되는 시간은 60시간 00분으로 난경의 크기가 증가할수록 부화시간이 증가하는 경향이였다.

동자개는 수온 25°C에서 53시간, 꼬치동자개는 수온 24°C에서 50시간, 눈동자개는 수온 21~23°C에서 72시간, 대농갱이는 수온 24.5~26.5°C에서 73시간 10분, 자가사리는 수온 22.5°C에서 189시간 20분, 종어는 수온 22.8°C에서 225시간 15분으로 미유기의 절반 부화시간과 직접적인 비교는 어려웠으나, 부화시간을 기준으로 대체적으로 난경의 크기가 클수록 부화시간이 증가하는 경향이였다.

어류 수정란의 부화시간은 수온이 가장 중요한 요인이며, 수온이 높아질수록 부화시간이 짧아지는 경향을 보인다(Herzig and Winkler, 1986). 본 연구에서 부화시간은 18°C에서 181시간, 21°C에서 109시간, 24°C에서 76시간 소요되어 수온이 높을수록 부화에 소요되는 시간이 짧아지는 경향이였다. 미유기는 같은 수온(23~25°C)에서 68시간 30분으로 메기에 비해 부화시간이 더 길게 소요되었다.

미유기의 수염은 부화 직후 상악 1쌍, 하악 2쌍으로 총 3쌍이

Table 3. Comparison of egg development in the order Siluriformes in Korea

Species	Egg size (mm)	Hatching period	Time of hatching (hr : mins)	Water temperature at hatching (°C)	Hatching size (mm)	References
<i>Silurus microdorsalis</i>	2.00±0.05 (1.86~2.08)	50% complete	68 : 30	24.0	4.64±0.22	This study
<i>Silurus asotus</i>	1.66±0.05 (1.62~1.70)	50% complete	60 : 00	23.0~25.0	3.62±0.03	Mun <i>et al.</i> , 2017
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	1.70±0.08 (1.60~1.80)	Hatching started	53 : 00	25.0	4.20~4.30	Kang and Lee, 1996
<i>Pseudobagrus brevicorpus</i>	1.99	–	50 : 00	24.0	5.90±0.20	Kang <i>et al.</i> , 2007
<i>Pseudobagrus koreanus</i>	2.59±0.08 (2.45~2.70)	Hatching started	72 : 00	21.0~23.0	5.41~6.01	Kang, 1998
<i>Leiocassis ussuriensis</i>	2.36±0.11 (2.20~2.50)	Hatching started	73 : 10	24.5~26.5	6.40±0.06	Park <i>et al.</i> , 2015
<i>Liobagrus mediadiposalis</i>	3.27 (2.85~3.73)	Hatching started	189 : 20	22.5	7.18~7.39	Choi <i>et al.</i> , 2008
<i>Liobagrus obesus</i>	3.30 (2.95~3.92)	Hatching started	225 : 15	22.8	7.30~7.90	Seo <i>et al.</i> , 2006

관찰되었는데, 같은 메기과의 메기는 부화 직후 수염이 2쌍으로 보고되어 차이를 보였다(Mun *et al.*, 2017). 그러나 Atoda(1935)는 메기 자치어는 하악에 변하지 않는 수염(permanent) 1쌍과 임시적인(temporary) 수염 1쌍이 있으며, 40 mm에서 퇴화한다고 보고한 바 있다. 미유기는 부화 후 30일 전까지 하악에 2쌍이 존재하였고, 30일 이후 1쌍이 퇴화하는 것이 관찰되어 임시적인 수염 1쌍이 퇴화한 것으로 판단되었다. 어류의 수염은 가시성이 낮은 수환경에서 감도를 증가시킨다(LeClair and Topczewski, 2010). 하악 수염의 퇴화 여부는 진화적으로 환경변화 및 발달에 따라 종 차이가 있는 것으로 보고된다(Puvaneswari *et al.*, 2009; Olaniyi and Omitogun, 2014; Andrade *et al.*, 2016). 메기과의 메기 및 미유기에서 수염이 퇴화되는 것으로 보아 메기와 미유기의 특징으로 추정된다. 수염의 발달에 관여하는 유전자군(gene family)이 복잡하지 않으며(LeClair and Topczewski, 2010), 추후 수염 퇴화에 관한 유전자군의 분자 진화학적 분석을 통해 퇴화에 관한 연구가 필요할 것으로 보인다.

인공 산란을 유도하기 위해 인위적으로 호르몬을 주사하기 때문에 친어의 성숙도와 호르몬의 유효농도를 고려해야 한다(Sahoo *et al.*, 2005; Achionye-Nzeh and Obaroh, 2012). 본 연구에서 미유기 친어 암컷에 Ovaprim 어체중 1 kg당 0.5 mL와 수컷에 HCG 어체중 1 kg당 10,000 IU를 처리하였으며, 이러한 호르몬은 동자개과와 메기과 종에서 인공 산란 유도에 효과적인 호르몬으로 보고되었다(Caneppele *et al.*, 2009; Achionye-Nzeh and Obaroh, 2012; Mun *et al.*, 2017; Kumar *et al.*, 2018). 호르

몬을 투여하여 인공 산란 유도 시 호르몬 용량에 따라 난질에 영향을 미쳐 부화율에 차이를 보이는 것으로 알려져 있다(Sahoo *et al.*, 2005; Achionye-Nzeh and Obaroh, 2012). 호르몬을 처리한 미유기의 부화율은 18°C에서 63.1±2.2%로 자연 산란에 비해 비교적 낮은 부화율로 추정된다. 따라서 추후 호르몬 농도별 부화율과 기형률을 조사하여 인공 산란 유도에 적합한 유효농도 연구가 필요할 것으로 보인다.

어류의 부화는 꼬리 부분 근육의 수축과 운동에 의해 촉진된다(Honji *et al.*, 2012). 본 연구에서 미유기는 부화 직전 꼬리 운동이 활발해져 꼬리 부분의 난막을 파괴하며 꼬리부터 부화되었다. Langeland and Kimmel (1977)은 대부분의 경골어류는 부화 시 배아의 머리 부분이 먼저 부화하는 것으로 보고하였으나, *Mystus gulio*, *Clarias gariepinus* 및 *Heterobranchus bidorsalis*와 같은 메기목 종들은 미유기와 동일하게 꼬리 부분이 먼저 부화하는 것으로 보고되었다(Olaniyi and Omitogun, 2013, 2014; Kumar *et al.*, 2018).

본 연구에서 미유기의 부화 가능 수온은 18~24°C였으나, 24°C에서 부화율은 7.3±0.5%로 매우 낮았고, 온도가 높아질수록 부화율이 낮은 것으로 나타나 고수온에 약한 것으로 나타났다. 부화율 18°C(63.1%)가 21°C(37.6%)에 비해 약 1.5배 이상 높았는데 부화 가능한 최저수온에서 가장 높은 것으로 나타났다. 따라서 미유기의 인공 산란 유도에 따라 최적 부화 온도는 18°C가 적합하였다.

미유기의 산란시기는 생식소 속도지수를 바탕으로 5~6월로

추정되었으며, 산란 수온은 21~24°C로 추정하고 있다(Ki and Lee, 2018). 본 연구에서 미유기의 수온별 난 발생 실험 결과에서 수온 18°C, 21°C, 24°C에서 모두 부화가 가능하여 추정 산란 시기 수온과 일치하였다. 자호천에서 친어 포획시기는 6월 중순이었으며, 당시 수온은 18~19°C였고(<https://water.nier.go.kr/>), 포획한 미유기의 성숙란을 확인하였다. 또한 7월말까지 포획한 미유기는 성숙란을 확인하였으며 당시 수온은 22~23°C였다. 수온별 난 발생 결과는 18°C에서 수온별 난 발생 실험에서 18°C 부화율이 63.1±2.2%로 가장 높았고 기형률은 10.0±3.7%로 가장 낮아 서식지의 수온과 부화 수온이 일치하였다. 잉어과(Cyprinid) 담수어류의 최적 부화 수온은 자연 산란기의 수온과 일치하는 것으로 보고되어 있다(Herzig and Winkler, 1986). Ki and Lee(2018)의 연구에서 추정 산란기 수온은 21.5~24°C의 범위로 나타나 본 연구의 산란 수온 범위와 비슷하였으나, 최적 부화 수온의 범위는 다소 차이가 있었다. 생식도 속도지수를 바탕으로 산란 수온 추정 결과는 수온 범위가 비슷한 경향을 보이거나 최적 산란 수온의 추정은 어렵다(Kim *et al.*, 2008). 따라서 수온별 부화율 결과에서 최적 부화 수온은 18°C였으며, 서식지인 자호천의 수온과 일치하였다. 그러나 자호천의 산란시기는 다른 지류하천에 비해 늦은 경향을 보이는데, 이는 자호천 상류에 위치한 영천댐의 영향으로 생각된다. 댐은 수직 깊이로 인해 수온약층이 형성되고, 수온이 낮은 저층수 방류에 의해 낮은 수온이 유지되기 때문으로 추정된다. 실제로 같은 시기 5~7월의 낙동강 수온(20~29°C)에 비해 자호천 수온(18~23°C)이 약 7~8°C가량 낮은 것을 확인하였다(<https://water.nier.go.kr/>). 본 연구에서는 미유기의 최적 부화 수온이 18°C가 적합하였으나, 추후 18°C를 기준으로 15~20°C 사이의 온도로 최적 부화 수온의 세밀한 조사가 필요할 것으로 보였다.

본 연구 결과를 종합해보면 미유기와 메기목 근연종들 간 난경, 부화속도, 부화자어 크기에서 차이가 있었다. 미유기는 같은 메기속의 메기에 비해 난경이 컸으며, 부화자어의 크기도 컸다. 미유기의 수온별 난 발생 결과는 18°C에서 부화율이 가장 높았으며, 기형률이 가장 낮아 18°C가 부화에 가장 적합한 수온이었다. 미유기는 고수온에 취약하므로 기후변화에 따른 수온 상승에 민감한 영향이 있을 것으로 보이며, 이를 보전하기 위한 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

요 약

본 연구는 자호천에 서식하는 미유기 *Silurus microdorsalis*의 난 발생 및 자치어의 형태발달을 관찰하여 초기생활사를 연구하였다. 2018년 6월에 친어를 포획하였으며, 수온 18°C, 광주기 14L:10D에 조건에서 순환여과식으로 사육하였다. 인공 산란 유도를 위해 성숙한 친어 암컷에 Ovaprim (Syndel, Canada) 어체중 1 kg당 0.5 mL, 수컷에 HCG 어체중 1 kg당 10,000 IU를

주사하였고, 15시간 후에 건식법으로 인공 수정하였다. 성숙란은 연한 담황색의 분리 침성란이었다. 수정란의 난경은 2.16±0.06 mm (n=8)였고, 수정 후 181시간 만에 완전히 부화하였다. 수온별 난 발생은 수온 18°C에서 부화율 63.1±2.2%, 기형률 10.0±3.7%로 나타나 18°C가 부화에 적합한 수온이었다. 수온별 발생속도는 18°C에서 181시간, 21°C에서 109시간, 24°C에서 76시간으로 나타났으며, 초기 난 발생이 진행되지 않는 생물학적 영도는 평균 12.2°C로 추정되었다. 부화 직후 자어의 크기는 4.64±0.22 mm (n=8)였고, 부화 후 1일에 빛의 자극에 회피반응(negative phototaxis)을 보였다. 부화 7일째는 전장 12.47±0.53 mm로 뒷지느러미 기조는 25~30개, 꼬리지느러미 기조는 14~16개가 관찰되었으며 난황이 모두 흡수되어 전기 자어기로 이행하였다. 부화 9일째는 전장 14.13±0.51 mm로 머리와 몸에 흑색 소포체가 90%가량 침착되었고 등지느러미가 생성되어 기조가 1개 관찰되었으며, 척색 말단이 위로 휘어지기 시작하여 중기 자어기로 이행하였다. 부화 15일째는 전장 16.69±0.31 mm로 꼬리지느러미 기조(18개)가 정수로 나타났으며 등지느러미 기조는 2개, 뒷지느러미 기조는 60~63개가 관찰되었으며, 척색 말단은 45°C로 완전히 휘어져 후기 자어기로 이행하였다. 부화 50일째는 전장 28.96±1.10 mm로 꼬리지느러미(18개), 등지느러미(3개), 가슴지느러미(11개), 뒷지느러미 기조(67~73개)가 정수로 나타나 치어기로 이행하였다.

사 사

본 논문은 순천향대학교의 지원을 받아 연구되었습니다.

REFERENCES

- Achionye-Nzeh, C.G. and I.S.R.A.E.L. Obaroh. 2012. Ovaprim doses effects on eggs of African mudfish *Clarias gariepinus*. Int. J. Life Sci. Pharma Res., 2: 6-9.
- Andrade, F.F., A.F. Lima, L. Assumpção, S. Makrakis, R.I. Kasai and M.C. Makrakis. 2016. Characterization of the early development of *Pseudoplatystoma reticulatum* Eigenmann & Eigenmann, 1889 (Siluriformes: Pimelodidae) from the Paraguay River basin. Neotrop. Ichthyol., 14: e150032.
- Atoda, K. 1935. The larvae of the catfish: *Parasilurus asotus* L. Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. (Biol.), 29-32.
- Caneppele, D., R.M. Honji, A.W. Hilsdorf and R.G. Moreira. 2009. Induced spawning of the endangered Neotropical species *Steindachneridion parahybae* (Siluriformes: Pimelodidae). Neotrop. Ichthyol., 7: 759-762.
- Choi, N.H., W.I. Seo, C.C. Kim, C.K. Park, S.J. Heo, S.M. Yoon, K.H. Han and W.K. Lee. 2008. Spawning behavior and early life history of the *Liobagrus mediadiposalis* in the Korean endemic species. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 41: 478-484.

- Fujimura, K. and N. Okada. 2007. Development of the embryo, larva and early juvenile of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae). Developmental staging system. Dev. Growth Differ., 49: 301-324.
- Herzig, A. and H. Winkler. 1986. The influence of temperature on the embryonic development of three cyprinid fishes, *Abramis brama*, *Chalcalburnus chalcooides mento* and *Vimba vimba*. J. Fish Biol., 28: 171-181.
- Honji, R.M., C.E. Tolussi, P.H. Mello, D. Caneppele and R.G. Moreira. 2012. Embryonic development and larval stages of *Steindachneridion parahybae* (Siluriformes: Pimelodidae) - implications for the conservation and rearing of this endangered Neotropical species. Neotrop. Ichthyol., 10: 313-327.
- Kang, E.J. 1998. Early life history of black bullhead, *Pseudobagrus koreanus* (Pisces, Bagridae), from Kum river, Korea. Korean J. Ichthyol., 10: 184-190.
- Kang, E.J. and C.H. Lee. 1996. Early life history of Korean bullhead, *Pseudobagrus fulvidraco* (Pisces, Bagridae), from Korea. Korean J. Ichthyol., 8: 83-89.
- Kang, E.J., H. Yang, H.H. Lee, Y.C. Cho, E.O. Kim, S.G. Lim and I.C. Bang. 2007. Ecology and early life history of endangered freshwater fish, *Pseudobagrus brevicorpus* (Pisces: Bagridae). Korean J. Environ. Biol., 25: 378-384.
- Ki, S.U. and W.K. Lee. 2018. The annual reproductive cycle of *Silurus microdorsalis*, a Korean endemic species. Dev. Reprod., 22: 1.
- Kim, D., H.Y. Cho and H.S. Lee. 2008. Study on the Reproduction and Growth of *Iksookimia koreensis* Kim (Pisces: Cobitidae) in the Namdae Stream, Cheorwon-gun, Gangwon-do, Korea. Korean J. Ichthyol., 20: 21-27.
- Kimmel, C.B., W.W. Ballard, S.R. Kimmel, B. Ullmann and T.F. Schilling. 1995. Stages of embryonic development of the zebrafish. Dev. Dyn., 203: 253-310.
- Kumar, P., G. Biswas, T.K. Ghoshal, M. Kailasam and K.K. Vijayan. 2018. Embryonic and larval developments of brackish water catfish, *Mystus gulio* (Hamilton and Buchanan, 1822) induced with human chorionic gonadotropin and consequent larval rearing. Aquac. Res., 49: 2466-2476.
- Langeland, J. and C.B. Kimmel. 1997. The embryology of fish. In: Gilbert, S.F. & A.M. Raunio (eds.), Embryology: Constructing the Organism, Sunderland, MA: Sinauer Associates, United Kingdom, pp. 383-407.
- LeClair, E.E. and J. Topczewski. 2010. Development and regeneration of the zebrafish maxillary barbel: a novel study system for vertebrate tissue growth and repair. PLoS One, 5: e8737.
- Lee, H.L. and I.S. Kim. 1987. A Osteological study of *Silurus microdorsalis* (Mori) (Silurida, Siluriformes). Korean J. Limnol., 20: 129-137.
- Lee, Y.H. and K.H. Kim. 2001. The ultrastructure of spermatozoa of the slender catfish *Silurus microdorsalis* (Teleostei, Siluriformes, Siluridae) with phylogenetic considerations. J. Submicrosc. Cytol. Pathol., 33: 329-336.
- Mahalder, B., M.M. Haque, M.A.B. Siddique, N.A. Hasan, M.M. Alam, M.M.N. Talukdar and A.S. Ahammad. 2023. Embryonic and Larval Development of Stinging Catfish, *Heteropneustes fossilis*, in Relation to Climatic and Water Quality Parameters. Life, 13: 583.
- Mun, S.J., H.S. Yim, K.H. Han and J.M. Park. 2017. Morphological development of eggs, larvae and juveniles of the far eastern catfish, *Silurus asotus* in Korea (Pisces: Siluridae). Dev. Reprod., 21: 399.
- Olaniyi, W.A. and O.G. Omitogun. 2013. Stages in the early and larval development of the African catfish *Clarias gariepinus* (Teleostei, Clariidae). Zygote, 22: 314-330.
- Olaniyi, W.A. and O.G. Omitogun. 2014. Embryonic and larval developmental stages of African giant catfish *Heterobranchus bidorsalis* (Geoffroy Saint Hilaire, 1809) (Teleostei, Clariidae). Springerplus, 3: 1-15.
- Park, C.E., Y.J. Park, M.C. Kim, M.K. Park, Y. Jung, S.D. Choi, Y.J. Jo, G.U. Kang, M.J. Kim, Q.X. Li, B.A. Yoza, K.H. Kim, H.C. Park and J.H. Shin. 2020. The first complete mitochondrial genome sequence of the Korean endemic catfish *Silurus microdorsalis* (Actinopteri, Siluriformes, Siluridae). Mitochondrial DNA Part B Resour., 5: 131-132.
- Park, I.S. and C.H. Kim. 2005. Characteristics of the histological structure of the mandibular barbels of two species of catfish (Siluridae) from Korea. Korean J. Ichthyol., 17: 36-42.
- Park, J.M., H.S. Yim, Y.S. Lee, H.Y. Kim and K.H. Han. 2015. Egg development of the ussurian bullhead fish, *Leiocassis ussuriensis* (Pisces: Bagridae) and morphological development of its larvae and juveniles. Dev. Reprod., 19: 189-196.
- Parvez, M.S., M.A. Rahman, M.J. Hasan, M.S.E. Rassel, M.M. Shaikh, M.H.R. Molla and M.M. Billah. 2018. Role of Hatchery on Fish Seed Production in Patuakhali District of Bangladesh: An Overview. Int. J. Chem. Environ. Biol. Sci., 6: 1-7.
- Pepin, P. 1991. Effect of temperature and size on development, mortality, and survival rates of the pelagic early life history stages of marine fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 48: 503-518.
- Pepin, P., D.C. Orr and J.T. Anderson. 1997. Time to hatch and larval size in relation to temperature and egg size in Atlantic cod (*Gadus morhua*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 54: 2-10.
- Puvaneswari, S., K. Marimuthu, R. Karuppasamy and M.A. Haniffa. 2009. Early embryonic and larval development of Indian catfish, *Heteropneustes fossilis*. EurAsian J. BioSci., 3: 84-96.
- Sahoo, S.K., S.S. Giri and A.K. Sahu. 2005. Induced spawning of Asian catfish, *Clarias batrachus* (Linn.): effect of various latency periods and SGnRH α and domperidone doses on spawning performance and egg quality. Aquac. Res., 36: 1273-1278.
- Seo, W.I., K.H. Han, S.M. Yoon, C.C. Kim, S.Y. Hwang, S.H. Lee, C.L. Lee, Y.M. Son and I.S. Kim. 2006. Early life history of the *Liobagrus obesus* (Pisces, Amblycipitidae). Dev. Reprod., 10: 41-45.