

왜매치, *Abbottina springeri* (Cypriniformes: Cyprinidae)의 난발생 및 자치어 형태발달

박재민 · 유동재 · 조성장¹ · 한경호^{2,*}

경상북도 토속어류산업화센터, ¹보령민물생태관, ²전남대학교 수산과학과

Morphological Development of Eggs, Larvae and Juveniles of the *Abbottina springeri* (Cypriniformes: Cyprinidae) by Jae-Min Park, Dong-Jae Yoo, Seong-Jang Cho¹ and Kyeong-Ho Han^{2,*} (Gyeongsangbuk-Do Native Fish Business Center, Uiseong 37366, Republic of Korea; ¹Boryeong Freshwater Eco Center, Boryeong 33416, Republic of Korea; ²Fishery Science Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea)

ABSTRACT This study was carried out to clarify the egg, larvae and juveniles development of *Abbottina springeri*. For the experiments, the matured adults were collected at the Seowon-cheon, Dangjin-si, Chungcheongnam-do, in Korea. The amount of spawning of female *A. springeri* was about 1,225~2,100 ($1,662 \pm 437$, $n=10$). The fertilized eggs were circular in shape and 1.05~1.13 (1.08 ± 0.02 , $n=30$) mm in diameter. The hatching time was required 72 hours to 80 hours after fertilization under water temperature of 22°C. The newly hatched larvae were 2.10~2.23 (2.16 ± 0.04 , $n=10$) mm in total length and had egg yolk in the abdomen but the mouth was not opened. At 5 days after hatching, the preflexion larvae were 3.19~3.30 (3.24 ± 0.03 , $n=10$) mm in total length and the most of yolk-sac was absorbed. At the 15 days after hatching, the flexion larvae were 4.97~5.30 (5.13 ± 0.12 , $n=10$) mm in total length and the tip of the caudal fin was began to bend upward. At the 25 days after hatching, the postflexion larvae were 8.97~9.60 (9.44 ± 0.16 , $n=10$) mm in total length and the tip of the caudal fin was bent at 45°. At the 35 days after hatching, the juvenile were 12.0~13.5 (12.7 ± 0.53 , $n=10$) mm in total length and all fin-rays (iii7 dorsal fin, iii6 anal fin, i7 ventral fins) were reached a constant number of each part.

Key words: *Abbottina springeri*, Cypriniformes, egg development, juveniles, larvae

서 론

어류의 초기생활사 연구는 종의 생물학적 특징을 이해하는데 가장 기초적인 연구 분야이고, 분류학적으로 구분이 어려운 자매종이나 유사종 사이의 종을 구분하거나 유연관계를 밝히는데 중요한 기초자료를 제공한다 (Blaxter, 1974; Balon, 1985).

왜매치, *Abbottina springeri*는 잉어목 (Cypriniformes) 잉어과 (Cyprinidae) 모래무지아과 (Gobioninae) 버들매치속 (*Abbottina*)에 속하는 어류로 1973년 Bánárescu와 Nalbant

에 의해 신종으로 처음 보고되었으며 (Bánárescu and Nalbant, 1973), 임진강에서 낙동강까지 서해와 남해로 흐르는 하천에 분포하는 한국 고유종이다 (Chae *et al.*, 2019). 전 세계의 버들매치속 어류는 *A. binhi*, *A. lalinensis*, *A. liaoningensis*, *A. obtusirostris*, 버들매치, *A. rivularis* 등 6종이 있는 것으로 알려져 있으며, 국제 어류 데이터베이스 (Fishbase)에서는 왜매치를 *Biwia*속으로 구분하였으나 국내에서는 버들매치속으로 사용하고 있어 본 논문에서 사용된 학명은 후자를 따랐다 (Chae *et al.*, 2019; Frose and Pauly, 2021). 왜매치는 신종 보고 당시 입술에 피질소돌기가 없는 것을 토대로 버들매치속으로 분류하였고 이후 입술의 돌기가 아닌 두부 감각관과 골격학적 특성을 기준으로 *Biwia*속으로 포함시켜야 한다는 주장과 골격, 근육, 핵형을 비교했을 때 모래주사속에 포함시키

저자 직위: 박재민 (연구사), 유동재 (연구사), 조성장 (대표), 한경호 (교수)
*Corresponding author: Kyeong-Ho Han Tel: 82-61-659-7163,
Fax: 82-61-659-7169, E-mail: aqua05@jnu.ac.kr

는 것이 더 타당하다는 주장이 있어 버들매치속과 모래주사속(*Microphysogobio*) 간의 분류학적 논란이 이어져 오고 있다(Hosoya, 1986; Kang 1991; Kawase and Hosoya, 2010; Kim and Bang, 2010).

그 밖에 왜매치에 대한 연구는 개체군 생태(Son, 2000), 분자계통학적 위치(Kim and Bang, 2010) 등이 이루어졌다. 모래무지아과 어류의 초기생활사 연구는 돌상어, *Gobiobotia brevibarba* (Ko et al., 2011a), 꾸구리, *G. macrocephala* (Ko et al., 2011b), 모래주사, *M. koreensis* (Kim et al., 2012), 흰수마자, *G. naktongensis* (Ko et al., 2013), 여울마자, *M. rapidus* (Hong et al., 2015), 어름치, *Hemibarbus mylodon* (Ko et al., 2017), 참마자, *H. longirostris* (Mun et al., 2020), 쉬리, *Coreoleuciscus splendidus* (Song et al., 2020) 등에서 이루어졌으나 왜매치에 대한 연구는 없었다. 우리나라에서 법적 보호를 받고 있는 멸종위기 어류 27종 중 모래무지아과 어류는 총 7종(25%)으로 다른 분류군에 비해 비율이 높은 편에 속하며, 이들의 지속적인 종 보존과 복원을 위해서는 보호대책 마련과 초기생활사에 대한 연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 한국 고유종 왜매치의 난발생과 자치어 형태발달을 관찰하여 초기생활사 특징을 밝히고 근연종인 모래무지아과 어류와 비교 논의하고자 한다.

재료 및 방법

1. 친어확보

연구에 사용된 친어는 2020년 4월 충청남도 당진시 서원천 일원에서 족대(망목, 4×4 mm)를 이용해 채집하였고, 연구실로 운반 후 사각유리수조(45×45×40 cm)에서 순환여과식으로 사육하였다. 성숙한 왜매치의 암컷은 전장 70.0~70.5 (72.5±2.5, n=10) mm, 체중 3.92~4.32 (4.19±0.13, n=10) g으로 복부가 불러 있었고, 생식공 주변은 붉은색을 띠었으며, 산란기 수컷은 전장 65.0~73.0 (69.0±4.0, n=10) mm로 눈 아랫부분과 입주변에는 추성이 생겨났으며, 몸 전체가 검은색으로 변하였다(Fig. 1). 먹이는 배합사료(Love larva, Japan)와 실지렁이(Blood worm)를 3회/일 공급하였고, 수온은 21~23°C(평균 22±1°C)를 유지해주었다.

2. 인공수정

포획한 친어는 수조에서 7일간 사육 후 인공수정을 위해 성숙 호르몬 Ovaprim(Syndel, Canada)을 어체중 1 kg당 0.5 mL 주사해 12시간 경과 후부터 복부압박법으로 지름 15 cm 넓이의 패트리디쉬에 멸균식염수가 있는 상태에서 채란하였고, 수컷은 정액을 채취 후 알과 혼합하여 습식법으로 인공수정하였다.

3. 난발생 및 자치어 형태발달

수정란은 4~5회 세란 후 패트리디쉬에서 사육하였고, 난발생 과정 관찰을 위해 수정란을 30개 선택 후 실체현미경(JP SMZ800, Nikon, Tokyo, Japan)으로 관찰 후 스케치하였으며, 만능투영기(JP V-12BM, Nikon, Tokyo, Japan)로 0.01 mm까지 측정하였다. 부화자어는 유리 사각수조(25×25×20 cm)에 수용하여 스펀지여과기를 이용해 순환여과식으로 사육하였다. 먹이는 난황 흡수 후부터 부화 후 7일까지 담수산 로티퍼(*Brachionus calyciflorus*)를 배양해 공급하였고, 이후부터는 알테미아(*Artemia nauplii*) 유생을 초기 미립자사료와 혼합 공급하였다. 자치어 형태발달은 2~5일 간격으로 마취제(MS-222, Ethyl3-aminobenzoate methanesul-fonate, Sigma Aldrich Co., St. Louis, USA)로 마취 후 실체현미경을 이용해 외부형태 관찰 후 스케치하였으며, 크기는 만능투영기로 0.01 mm까지 측정하였다. 자치어 단계별 형태구분은 Kim et al. (2011)에 따라 난황자어기, 전기자어기, 중기자어기, 후기자어기, 치어기로 구분하였다.

결 과

1. 난 형태 및 크기

산란량은 1,225~2,100 (1,662±437, n=10)개였고, 난은 무색 투명하였으며, 난막 외부는 젤리층으로 둘러싸인 분리침성란이었다. 성숙란의 크기는 1.05~1.13 (1.08±0.02, n=30) mm였다.

2. 난발생 과정

왜매치의 난은 수정 직후 물을 흡수하기 시작하였고, 수정 후 10분에는 난막과 난황이 분리되었으며, 난경은 1.10~1.30 (1.20±1.10, n=30) mm였다(Fig. 2A). 수정 후 30분에는 동물극 쪽으로 배반(1세포기)이 형성되었고(Fig. 2B), 수정 후 1시간에는 배반에 난황이 형성되었으며, 할구가 같은 크기로 나누어지면서 2세포기에 달하였다(Fig. 2C). 수정 후 1시간 30분에는 같은 방식으로 할구가 나누어지면서 4세포기에 달하였다(Fig. 2D). 수정 후 2시간에는 8세포기에 달하였고(Fig. 2E), 수정 후 2시간 30분에는 16세포기에 달하였으며(Fig. 2F), 수정 후 3시간에는 32세포기에 달하였다(Fig. 2G). 수정 후 3시간 30분에는 할구의 수가 증가하면서 64세포기에 달하였고(Fig. 2H), 수정 후 4시간 30분에는 상실기(morula, 256세포기)에 달하였으며(Fig. 2I), 수정 후 5시간 30분에는 포배기(blastula)에 달하였다(Fig. 2J). 수정 후 7시간 30분에는 낭배기(gastrula)에 달하면서 동물극이 식물극 쪽으로 30% 정도를 덮어 내려왔고(Fig. 2K), 수정 후 10시간 30분에는 50% 이상을 덮어 내려와 중기

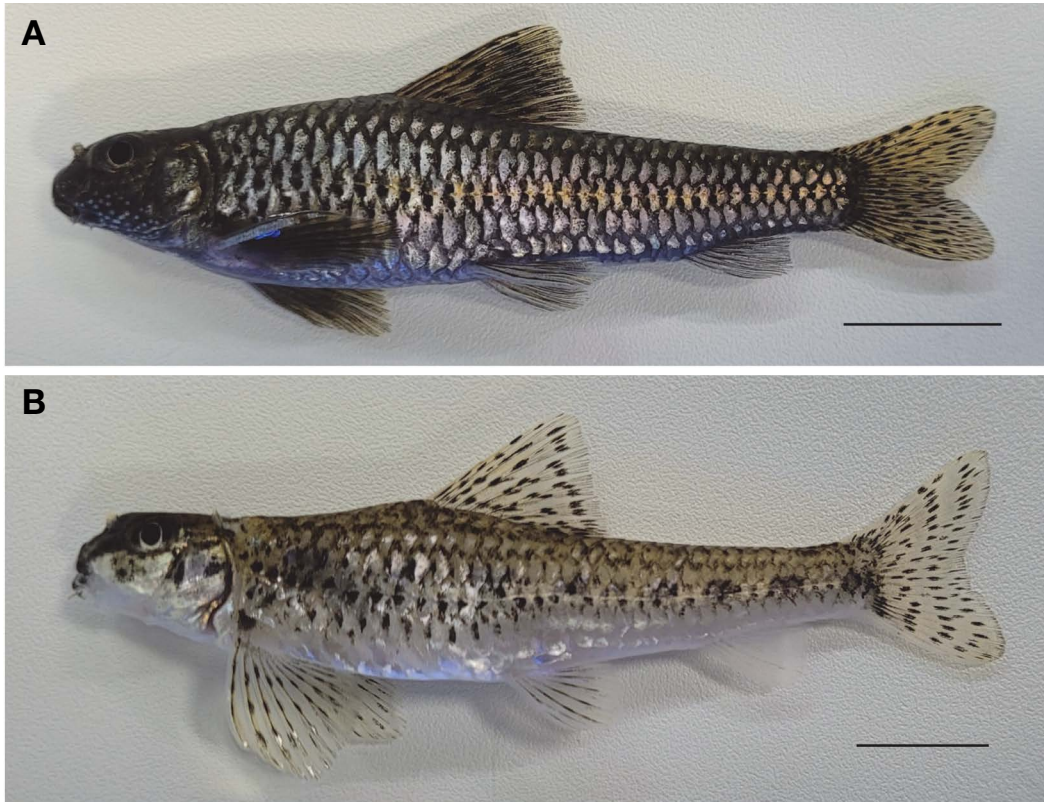


Fig. 1. Morphology of *Abbottina springeri* male (A) and female (B) from Seowon-cheon, Dangjin-si, Chungcheongnam-do. Scale bars = 1.00 cm.

낭배기에 달하였다(Fig. 2L). 수정 후 13시간 30분에는 90% 이상을 덮어 내려오면서 말기 낭배기에 달하였고, 원구가 폐쇄되었다(Fig. 2M). 수정 후 14시간 30분에는 배체가 발달하기 시작하였고, 근절이 4개 형성되었다(Fig. 2N). 수정 후 17시간 30분에는 머리에 안포가 형성되었고, 배체가 길어졌으며, 근절은 7개로 증가하였다(Fig. 2O). 수정 후 25시간에는 근절이 10개로 증가하였고, 머리에는 이포가 형성되었으며, 미병부에는 Kupper's vesicle이 형성되었다. 이 시기에는 꼬리에 막지느러미가 발달하기 시작하였다(Fig. 2P). 수정 후 30시간에는 배체가 난황을 흡수하면서 꼬리가 길어졌고, 근절은 25개로 증가하였으며, Kupper's vesicle이 소실되었다. 눈에는 렌즈가 형성되기 시작하였고, 배체의 움직임이 관찰되었으며(Fig. 2Q), 수정 후 50시간에는 꼬리가 더욱 길어지면서 난황과 분리되었고, 막지느러미가 점차 넓게 발달하였다.

수정 후 72시간에는 배체가 난막을 뚫고 나오면서 부화가 시작되었고(Fig. 2R), 수정 후 76시간에는 50% 부화하였으며, 수정 후 80시간에는 모든 개체의 부화가 완료되었다(Fig. 2S).

3. 자치어 형태발달

1) 난황자어기

부화 직후에는 전장 2.10~2.23 (평균2.16±0.04, n = 10) mm

로 막지느러미 시작점은 전장대비 50.9%로 몸의 절반 정도에 위치했으며, 복부 쪽의 난황 뒤끝까지 이어져 있었다. 자어의 움직임은 90°에 가깝게 복부를 반복적으로 접고 퍼기를 반복하였다. 눈에는 색소포가 침착되지 않았고, 입과 항문은 열리지 않았다(Fig. 3A).

부화 후 1일째 난황자어는 전장 2.25~2.40 (2.32±0.04, n = 10) mm로 눈에는 흑색소포가 침착하였고, 난황 아래쪽에는 반점 모양으로 침착되기 시작하였으며, 막지느러미는 더욱 넓게 발달하였다(Fig. 3B).

부화 후 2일째 난황자어는 전장 3.10~3.31 (3.19±0.05, n = 10) mm로 막으로 된 가슴지느러미가 발달하였고, 난황 아래쪽과 미병부에는 나뭇가지 모양의 흑색소포가 발달하였다. 아가미 뚜껑 앞쪽에는 한 쌍의 감각돌기(cupulae, capula)가 형성되었고, 항문이 열렸으며, 막으로 된 꼬리지느러미는 부채꼴 모양으로 발달하였다(Fig. 3C).

부화 후 3일째 난황자어는 전장 3.19~3.30 (3.24±0.03, n = 10) mm로 난황은 대부분 흡수하였으나 입은 완전히 열리지 않았다. 가슴지느러미에는 기조가 형성되기 시작하였고, 복부 아래와 미병부에는 나뭇가지 모양의 흑색소포가 더욱 넓게 침착하였다. 이 시기의 막지느러미 시작점은 전장대비 60.5%로 몸의 절반을 기준으로 뒤 쪽에 위치하였다. 배와 꼬리 쪽

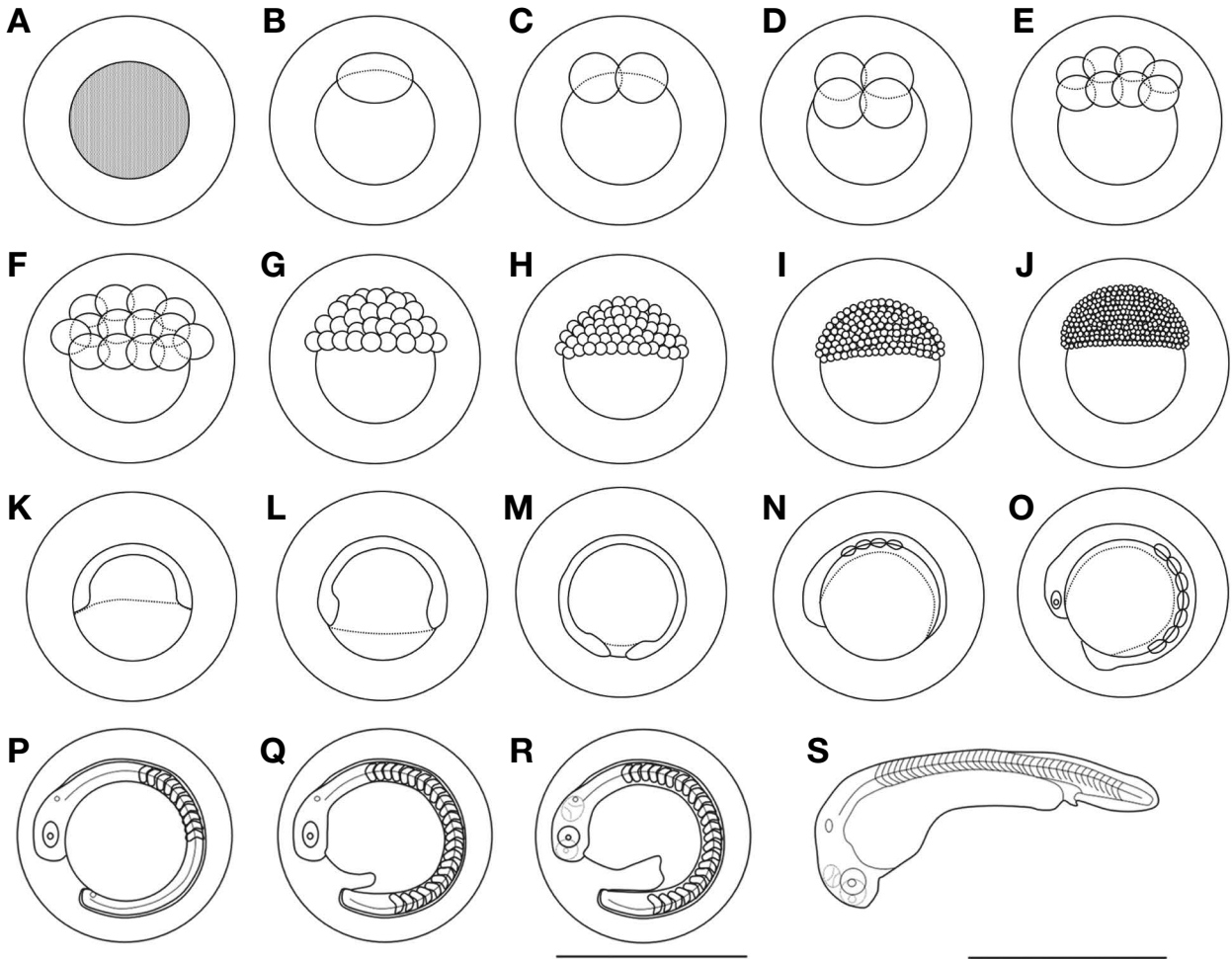


Fig. 2. The development of *Abbottina springeri*. A: fertilized eggs; B: blastodisc; C: 2 cells; D: 4 cells; E: 8 cells; F: 16 cells; G: 32 cells; H: 64 cells; I: morula stage; J: blastula stage; K: gastrula stage 30%; L: gastrula stage 50%; M: closure blastopore; N: formation of embryo; O: 7 myotomes; P: appearance of Kuffer's vesicle; Q: formation of the lens; R: before the hatching; S: hatched larvae. Scale bars = 1.00 mm.

으로 연결된 뒷지느러미는 항문이 열리면서 분리되었다(Fig. 3D).

2) 전기자어기

부화 후 5일째는 전장 3.29~3.45 (3.36 ± 0.04, n = 10) mm로 난황의 흡수가 완료되었고, 입이 완전히 열리면서 담수산 로티퍼를 섭취하였다. 가슴지느러미의 끝은 뾰족하고 길게 발달하였고, 감각돌기는 아래턱과 머리 윗부분, 입 주변에 12쌍, 몸 중앙 체측부분을 따라 투명하고 뾰족한 형태로 14쌍이 형성되면서 전기자어기로 이행하였다(Fig. 3E).

부화 후 8일째 전기자어는 전장 3.50~3.72 (3.61 ± 0.07, n = 10) mm로 먹이활동이 활발해지면서 알테미아 유생을 섭취하였고, 가슴지느러미 기조는 10개로 증가하였으며, 배 쪽의 소화관은 일직선으로 길게 발달하였다. 흑색소포는 아가미 뚜껑 윗부분과 견대부, 머리 윗부분 및 소화관을 따라 침착하였다(Fig. 3F).

3) 중기자어기

부화 후 15일째는 전장 4.97~5.30 (5.13 ± 0.12, n = 10) mm로 소화관을 따라 몸에 침착하였던 흑색소포는 등 쪽 상단부분에 반점 모양으로 그 수가 증가하였다. 머리 부분과 몸 중앙 체측부분의 감각돌기는 21쌍으로 수가 증가하였고 길이도 길어졌으며, 꼬리의 끝인 척추말단 부분은 기조의 발달과 함께 상단으로 휘어지기 시작하면서 중기자어로 이행하였다(Fig. 3G).

4) 후기자어기

부화 후 25일째는 전장 8.97~9.60 (9.44 ± 0.16, n = 10) mm로 가슴지느러미의 길이는 짧아졌고, 입의 위치는 아래쪽을 향해 발달하기 시작하였다. 흑색소포는 등지느러미 기조 시작점에 작은 반점 모양으로 침착하였고, 미병부의 위쪽과 아래쪽을 비롯하여 입 주변, 머리 윗부분과 몸통 쪽에 넓게 침착하였다. 몸의 정중앙을 따라 측면에는 척추골 마디마다 가로 띠의 흑색소포가 침착되었고, 막으로 연결되어 있던 지느러미

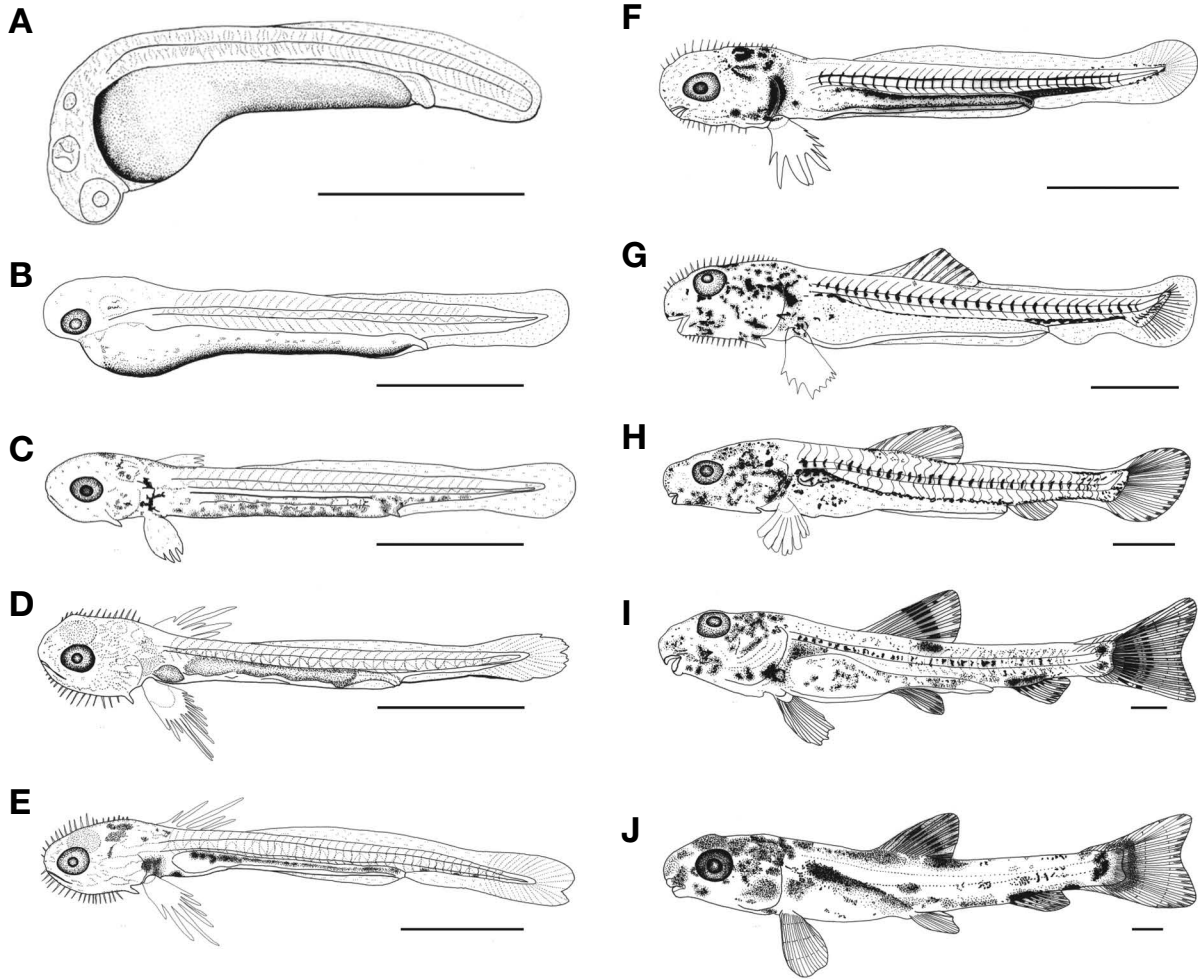


Fig. 3. Larvae and juveniles development of *Abbottina springeri*. A: Newly hatched larvae, 2.16 mm in total length (TL); B: 1days after hatching (DAH), 2.32 mm in TL; C: 2DAH, 3.19 mm in TL; D: 3 DAH, 3.24 mm in TL; E: 5 DAH, 3.36 mm in TL; F: 8 DAH, 3.61 mm in TL; G: 15 DAH, 5.13 mm in TL; H: 25 DAH, 9.44 mm in TL; I: 35DAH, 12.7 mm in TL; J: 40DAH, 14.5 mm in TL. Scale bars = 1.00 mm.

는 각 부위별로 분리되었으며, 기조 수는 등지느러미 10개, 뒷지느러미 8개, 꼬리지느러미 21개(11+10)로 증가하였다. 머리와 몸 중앙 체측부분의 감각돌기가 모두 사라졌으며, 입에는 1쌍의 수염이 발달하였다. 이 시기에는 꼬리 끝의 상단으로 휘어진 척추말단 부분이 45°로 완전히 휘어지면서 후기자치어기로 이행하였다(Fig. 3H).

5) 치어기

부화 후 35일째 치어는 전장 12.0~13.5 (12.7±0.53, n=10) mm로 머리 윗부분과 몸통에 침착되었던 흑색소포가 원형의 반점 모양으로 발달하였으며, 등, 뒷, 꼬리지느러미 기조 윗부분에도 침착하였다. 꼬리지느러미는 끝이 두 갈래로 갈라진 정미 형태를 나타냈고, 지느러미 기조 수는 배지느러미가 8개로 증가하였고, 모든 지느러미의 개수가 정수에 달하면서 치어기로 이행하였다(Fig. 3I).

부화 후 40일째 치어는 전장 14.0~15.1 (14.5±0.44, n=10) mm로 흑색소포의 분포위치가 머리, 복부, 몸 정중앙, 등 쪽, 미병부 등 부위별로 나뉘어 발달하였다. 각 부위별 지느러미 기조 수는 등지느러미 iii7개, 뒷지느러미 iii6개, 배지느러미 i7개였다(Fig. 3J).

고 찰

어류의 난발생 및 초기생활사 연구는 종의 생물학적 특성에 대한 정보를 바탕으로 대상 종의 인공종묘 생산 등 복원을 위한 연구에 다각도로 활용할 수 있기 때문에 중요하며(Hong *et al.*, 2015), 근연종 사이의 계통분류학적 위치 규명에도 중요한 요인으로 작용한다(Blaxter, 1974). 본 연구 결과에서는 왜매치의 난발생 과정 및 초기생활사 특징을 모래무지아과의 근연종들과

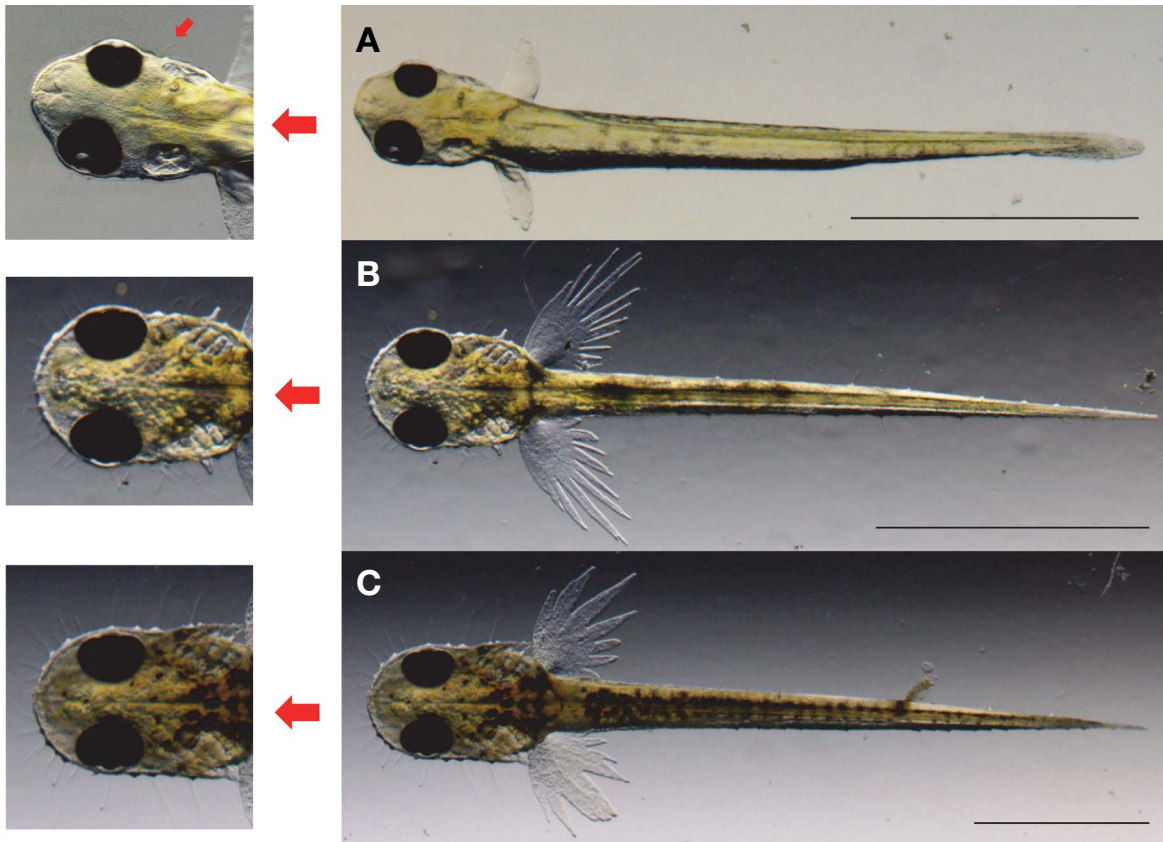


Fig. 4. Dorsal view of cupulae appearing in *Abbottina springeri*. (A) yolk-sac, 2 days after hatching (TL, 3.10~3.31 mm), (B) preflexion, 5 days after hatching (TL, 3.29~3.45 mm), (C) flexion larvae, 15 days after hatching (TL, 4.97~5.30 mm). Scale bars = 1.00 mm.

비교하였다(Table 1).

왜매치의 산란 시기는 5~6월로 알려져 있으며(Chae *et al.*, 2019), 본 연구에서는 호르몬을 이용한 산란유도로 채란과 채정을 4월 초에 실시하였다. 이때는 수온이 20°C 이상 상승하는 시기였고, 포획 시 친어의 복부는 볼리 있었으나 압박 시 채란은 확인되지 않았으며, 수컷은 정자의 방출이 확인되는 것으로 보아 포획 당시 산란기가 시작되는 시점으로 판단된다. 효율적인 인공증식을 위해서는 포획 시 친어의 어체손상, 스트레스 최소화 등을 위해 산란이 임박한 시기에 확보하는 것 보다 산란시작 시점에 안정적으로 포획하여 연구실에서 순치사육 후 호르몬 주사를 통한 산란유도 방법이 효율적일 것으로 생각된다.

모래무지아과 어류인 배가사리는 4~5월(Song and Son, 2003), 모래주사 4월 말~5월 초(Kim *et al.*, 2012), 여울마자 4월 말~5월(Hong *et al.*, 2015), 돌마자 5월 중순~7월 말(Baek, 1978)로 어종별로 차이를 보였으며, 향후 왜매치의 더욱 정확한 산란시기 재확인을 위해서는 서식지에서 생태적인 조사가 필요할 것으로 생각된다.

산란량은 왜매치 평균 1,662 ± 437 (1,225~2,100, n = 10)개였고, Son (2000)은 652 (620~694, n = 8)개로 보고하여 차이

를 보였다. 동일 종에서 산란량의 차이는 서원천의 왜매치 암컷(전장 7cm)이 Son (2000)이 보고한 무심천 개체(전장 5~6cm)보다 크기가 컸으며, 개체의 크기에 따른 산란량과 포란수의 차이가 있을 것으로 생각되나 향후 연구를 통해 재확인이 필요할 것으로 보인다. 다른 모래무지아과 어류는 여울마자 2,298 ± 639 (1,602~3,240)개(Hong *et al.*, 2015), 모래주사 3,331 ± 935 (2,041~4,404)개(Kim *et al.*, 2012), 돌마자 672 ± 376 (276~1,230)개(Baek, 1978), 배가사리 7,334 (5,133~8,787)개(Song and Son, 2003)로 돌마자, 참붕어, 가는돌고기, 꾸구리, 돌상어, 흰수마자보다 많았다.

왜매치의 수정란 크기는 1.05~1.13 (평균 1.08 ± 0.02) mm였고, 모래무지아과 어류인 참붕어 1.86 mm(Han *et al.*, 2001), 돌고기 2.1 mm(Lee *et al.*, 2002), 감돌고기 2.18 mm(Lee *et al.*, 2004), 가는돌고기 1.96 mm(Ko *et al.*, 2012), 모래무지 1.98 mm(Lee *et al.*, 2008), 참마자 2.01 mm(Mun *et al.*, 2020), 어름치 2.21 mm(Ko *et al.*, 2017), 누치 1.75 mm(He *et al.*, 1999), 쉬리 1.61 mm(Song *et al.*, 2020)로 보다 작았고, 모래주사 1.0 mm(Kim *et al.*, 2012), 배가사리 1.03 mm(Song and Son, 2003), 돌상어 1.24 mm(Ko *et al.*, 2011a)와 같았다. 여울마자는

Table 1. Comparison of egg and larvae, juveniles characteristic in Gobiominae fishes

Species	Egg diameter (mm, mean ± SD)	Spawn eggs (mean ± SD, range)	Time of hatching (*WT)	*NHL size (mm, mean ± SD)	Days until postflexion larvae size (mm, mean ± SD)	Days until juvenile size (mm, mean ± SD)	Authors
<i>Abbottina springeri</i>	1.08 ± 0.02	1,662 ± 437 (1,225~2,100)	72 h (21~23°C)	2.16 ± 0.04	9.44 ± 0.16	12.7 ± 0.53	Present study
<i>Macrophysogobio rapidus</i>	0.43 ± 0.06	652 (620~694)	-	-	-	-	Son, 2000
<i>M. korensis</i>	0.63 ± 0.02	2,298 ± 639 (1,602~3,240)	72 h (20~22°C)	2.79 ± 0.04	24 days (7.90 ± 0.32)	30 days (9.74 ± 0.24)	Hong <i>et al.</i> , 2015
<i>M. yaluansis</i>	1.0 ± 0.04	3,331 ± 935 (2,041~4,404)	29 h (23°C)	2.2 ± 0.48	20 days (6.5 ± 0.77)	40 days (10.0 ± 0.88)	Kim <i>et al.</i> , 2012
<i>M. longidorsalis</i>	0.5	672 ± 376 (276~1,230)	20 h (22~25°C)	0.7	-	-	Baek, 1978
<i>Pseudorasbora parva</i>	1.03 ± 0.07	7,334 (5,133~8,787)	-	-	-	-	Song and Son, 2003
<i>Pungtungia herzi</i>	1.86	323 (250~420)	183 h (15.5~18.5°C)	5.16	32 days (9.65)	48 days (11.3)	Han <i>et al.</i> , 2001
<i>Pseudopungtungia nigra</i>	2.1	1,640 (1,400~1,860)	186 h (19°C)	6.0	32 days (12.4)	45 days (14.6)	Lee <i>et al.</i> , 2002
<i>P. tenuicorpa</i>	2.18	1,600 (1,400~1,900)	189 h (18.5~19.5°C)	5.82	20 days (10.8)	44 days (14.5)	Lee <i>et al.</i> , 2004
<i>Pseudogobio esocinus</i>	1.96 ± 0.08	218 ± 76 (87~345)	240 h (22~24°C)	8.6 ± 0.25	6 days (10.1 ± 0.37)	10 days (10.6 ± 0.44)	Ko <i>et al.</i> , 2012
<i>Gobiobotia macrocephala</i>	1.98 ± 0.19	-	164 h (19°C)	4.61 ± 0.83	29 days (9.91)	42 days (16.2)	Lee <i>et al.</i> , 2008
<i>G. brevibarba</i>	0.89 ± 0.04	1,271 ± 908 (205~3,361)	107 h (23°C)	4.6 ± 0.16	10 days (7.7 ± 0.58)	15 days (8.6 ± 0.67)	Ko <i>et al.</i> , 2011b
<i>G. nakdongensis</i>	1.24 ± 0.07	744 ± 401 (259~1,642)	120 h (23°C)	5.5 ± 0.29	15 days (9.9 ± 0.72)	20 days (11.3 ± 0.71)	Ko <i>et al.</i> , 2011a
<i>Hemibarbus longirostris</i>	0.74 ± 0.08	1,015 ± 199 (750~1,365)	26 h (23°C)	3.4 ± 0.07	13 days (7.6 ± 0.48)	20 days (12.0 ± 0.76)	Ko <i>et al.</i> , 2013
<i>H. mylodon</i>	2.01 ± 0.18	1,750 ± 250 (1,500~2,000)	175 h (18~20°C)	8.10 ± 0.02	12 days (12.2 ± 0.55)	25 days (16.1 ± 0.27)	Mun <i>et al.</i> , 2020
<i>H. labeo</i>	2.21 ± 0.06	4,309 ± 1,038 (3,158~5,526)	72 h (20°C)	6.6 ± 0.75	14 days (13.5 ± 0.23)	21 days (14.8 ± 0.45)	Ko <i>et al.</i> , 2017
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	1.75	-	-	7.92 ± 0.29	14 days (13.0 ± 0.53)	32 days (24.4 ± 1.65)	He <i>et al.</i> , 1999
	1.61 ± 0.05	-	98 h (20°C)	5.31	7 days (8.78)	29 days (14.9)	Song <i>et al.</i> , 2020

*NHL: newly hatched larvae; WT: water temperature

0.63 mm (Hong *et al.*, 2015), 돌마자 0.5 mm (Baek, 1978), 꾸구리 0.89 mm (Ko *et al.*, 2011b), 흰수마자 0.74 mm (Ko *et al.*, 2013)로 보다 컸다. 성숙란의 크기 차이는 부화 직후의 자어 크기와 밀접한 연관이 있으며 초기먹이를 결정하는 중요한 기준이 된다(Ko *et al.*, 2011b).

왜매치의 부화 소요시간은 수온 22°C일 때 72~80시간이 소요되었다. 이를 다른 모래무지아과 어류와 비교해 보면 여울마자는 수온 20~22°C일 때 72시간(Hong *et al.*, 2015), 어름치는 수온 20°C 72시간(Ko *et al.*, 2017)으로 왜매치와 비슷하였고, 모래주사는 수온 23°C 29시간(Kim *et al.*, 2012), 돌마자는 수온 20~25°C 20시간(Baek, 1978), 흰수마자는 수온 23°C 26시간(Ko *et al.*, 2013)으로 왜매치보다 부화시간이 훨씬 짧았다. 참붕어는 수온 15.5~18.5°C 183시간(Han *et al.*, 2001), 돌고기는 수온 19°C 186시간(Lee *et al.*, 2002), 감돌고기는 수온 18.5~19.5°C 189시간(Lee *et al.*, 2004), 가는돌고기는 수온 22~24°C 240시간(Ko *et al.*, 2012), 모래무지는 수온 19°C 164시간(Lee *et al.*, 2008), 꾸구리는 수온 23°C 107시간(Ko *et al.*, 2011b), 돌상어는 수온 23°C 120시간(Ko *et al.*, 2011a), 참마자는 수온 18~20°C 175시간(Mun *et al.*, 2020), 쉬리는 수온 20°C 98시간(Song *et al.*, 2020)으로 대부분 왜매치보다 부화시간이 훨씬 길었다.

왜매치의 부화 직후 난황 자어 크기는 2.10~2.23 (평균 2.16 ± 0.04) mm로 참붕어 5.16 mm (Han *et al.*, 2001), 돌고기 6.0 mm (Lee *et al.*, 2002), 감돌고기 5.82 mm (Lee *et al.*, 2004), 가는돌고기 8.6 mm (Ko *et al.*, 2012), 모래무지 4.61 mm (Lee *et al.*, 2008), 돌상어 5.5 mm (Ko *et al.*, 2011a), 참마자 8.10 mm (Mun *et al.*, 2020), 어름치 6.6 mm (Ko *et al.*, 2017), 누치 7.92 mm (He *et al.*, 1999), 쉬리 5.31 mm (Song *et al.*, 2020)로 보다 작았으며, 난의 크기가 클수록 부화자어의 크기도 큰 경향을 보였다. 반면 참붕어 5.16 mm, 돌상어 5.50 mm는 난 크기가 같았으나 부화자어의 크기가 보다 컸고, 여울마자 2.79 mm, 꾸구리 4.6 mm, 흰수마자 3.4 mm는 난 크기가 작았으나 부화자어 크기가 보다 크게 나타나 어종별 부화자어 크기 차이는 수온에 따른 부화 소요시간과 관련 있을 것으로 보인다(Kim *et al.*, 2012).

자치어의 발육단계별 형태는 난황자어, 전기자어, 중기자어, 후기자어, 치어기로 구분되며, 본 연구에서는 모래무지아과 어류 자치어의 후기자어와 치어 이행시기의 선행 연구결과를 Kim *et al.* (2011)에 따라 재구분하여 비교하였으며, 후기자어와 치어 단계의 특징 비교는 처음 이행이 시작되는 시점을 기준으로 하였다.

후기자어의 이행시기와 크기는 왜매치가 부화 후 25일 전장 8.97~9.60 (9.44 ± 0.16) mm였고, 모래주사 부화 후 20일 6.5 mm (Kim *et al.*, 2012), 꾸구리 부화 후 10일 7.7 mm (Ko *et al.*, 2011b), 흰수마자 부화 후 13일 7.6 mm (Ko *et al.*, 2013), 여울마자 부화 후 24일 7.90 mm (Hong *et al.*, 2015), 쉬리 부화 후

7일 8.78 mm (Song *et al.*, 2020)보다 컸고, 참붕어 부화 후 32일 9.65 mm (Han *et al.*, 2001), 모래무지 부화 후 29일 9.91 mm (Lee *et al.*, 2008), 돌상어 부화 후 15일 9.9 mm (Ko *et al.*, 2011a)와 가까웠다. 돌고기 부화 후 32일 12.4 mm (Lee *et al.*, 2002), 감돌고기 부화 후 20일 10.8 mm (Lee *et al.*, 2004), 가는돌고기 부화 후 6일 10.1 mm (Ko *et al.*, 2012), 참마자 부화 후 12일 12.2 mm (Mun *et al.*, 2020), 어름치 부화 후 14일 13.5 mm (Ko *et al.*, 2017), 누치 부화 후 14일 13.0 mm (He *et al.*, 1999)로 보다 작았으며 이행 시기는 가는돌고기가 가장 빨리 후기자어로 발달하였다.

치어의 이행시기와 크기는 왜매치가 부화 후 35일 전장 12.0~13.5 (12.7 ± 0.53) mm로 여울마자 부화 후 30일 9.74 mm (Hong *et al.*, 2015), 모래주사 부화 후 40일 10.0 mm (Kim *et al.*, 2012), 참붕어 부화 후 48일 11.3 mm (Han *et al.*, 2001), 꾸구리 부화 후 15일 8.6 mm (Ko *et al.*, 2011b), 돌상어 부화 후 20일 11.3 mm (Ko *et al.*, 2011a), 흰수마자 부화 후 20일 12.0 mm (Ko *et al.*, 2013), 가는돌고기 부화 후 10일 10.6 mm (Ko *et al.*, 2012)로 보다 컸고, 돌고기 부화 후 45일 14.6 mm (Lee *et al.*, 2002), 감돌고기 부화 후 44일 14.5 mm (Lee *et al.*, 2004), 모래무지 부화 후 42일 16.2 mm (Lee *et al.*, 2008), 참마자 부화 후 25일 16.1 mm (Mun *et al.*, 2020), 어름치 부화 후 21일 14.8 mm (Ko *et al.*, 2017), 누치 부화 후 32일 24.4 mm (He *et al.*, 1999), 쉬리 부화 후 29일 14.9 mm (Song *et al.*, 2020)로 보다 작았으며 이행 시기는 가는돌고기가 가장 빨리 치어로 발달하였다.

어류의 머리와 체측 표면에 발달하는 막대 모양의 cupulae (cupula)는 표면신경소구(superficial neuromast)를 이루는 모세포(hair cells)의 섬모 묶음으로 젤라틴 돔과 같은 구조인 cupulae (cupula)를 형성하고 있으며, 기능과 형태가 척추동물의 청각 및 전정시스템과 유사하다고 알려져 있다(Roberts *et al.*, 1988; Mogdans, 2019; Song *et al.*, 2020). 또 자어시기에 나타나는 cupulae는 먹이섭식과 서식지 선택에 기여할 수 있다(Nakajima and Onikura, 2015). 이러한 감각기관은 다양한 잉어목 어류에서도 관찰이 가능하며(Mogdans, 2019), 모래무지아과 어류에서도 출현시기와 분포, 형태 등의 연구가 진행된 바 있다(Nakajima and Onikura, 2015).

왜매치는 부화 후 2일 머리에 1쌍이 형성되었고, 먹이 섭취를 시작하는 부화 후 5일 머리에 12쌍, 몸 측면에 14쌍이 형성되었다. 부화 후 15일 몸 측면에 21쌍으로 증가하였으며, 부화 후 20일이 경과하면서 사라졌다(Fig. 4). 쉬리는 부화 후 4일에 발달하기 시작하여 먹이 섭식이 시작되는 부화 후 7일에 최대로 발달하여 이 시기에 나타나는 cupulae는 초기생활단계에서 서식지와 먹이선택을 위해 발달한 것으로 보인다(Song *et al.*, 2020).

현재 국내에서 이루어진 모래무지아과 어류의 초기생활사 연구 대부분에서 cupulae 및 감각기관 발달 등의 연구가 부족해

향후 출현시기, 분포, 형태 등을 유연종 간 비교하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

왜매치는 형태적으로 유사한 모래주사속과 계통분류에 대한 논란이 지속되어 왔으나 Park (2014)의 계통분류학적 연구결과에 따르면 왜매치가 모래주사속에 가깝다고 하였다. 본 연구에서도 초기생활사를 비교한 결과 난 크기는 모래주사속인 모래주사, 배가사리와 가까웠고, 부화자어 크기는 여울마자와 가까웠으며, 후기자어 및 치어 이행시기는 모래주사 및 여울마자와 가까웠다. 초기생활사에서 나타나는 특징은 근연종들 가운데 모래주사속과 가장 가깝게 나타났으며, 속간의 더욱 명확한 차이점을 확인하기 위해 같은 속 어류인 버들매치의 초기생활사 연구가 추가적으로 필요하다. 모래무지아과 어류들은 매우 다양한 서식지 특징과 생활사를 가지는 것으로 알려졌으나 초기생활사에 대해서는 일부 종에서만 연구가 진행되어 왔다(Bánárescu and Nalbant, 1973; Kim *et al.*, 2005; Ko *et al.*, 2011a). 따라서 모래무지아과 어류의 초기생활사 연구를 통해 종 보존 및 복원, 분류학적 연구를 위한 지속적인 연구와 기초자료 확보가 필요하다고 생각된다.

요 약

본 연구는 왜매치의 초기생활사를 밝히기 위해 충청남도 당진시 서원천에서 성어를 채집하여 인공수정을 통해 수행하였다. 왜매치 암컷의 산란량은 1,225~2,100개 (1,662±437개, n=10) 정도였다. 난의 형태는 원형으로 크기는 1.05~1.13 (1.08±0.02, n=30) mm였다. 수정란은 수온 22°C에서 부화까지 72~80시간이 소요되었다. 부화 직후의 난황자어는 전장 2.10~2.23 (2.16±0.04, n=10) mm로 입과 항문은 열려 있지 않았고 난황을 가지고 있었다. 부화 후 5일째는 전장 3.29~3.45 (3.36±0.04, n=10) mm로 난황을 모두 흡수하였고 먹이를 섭취하면서 전기자어로 이행하였다. 부화 후 15일째는 전장 4.97~5.30 (5.13±0.12, n=10) mm로 척추 끝부분이 상단으로 휘어지기 시작하면서 중기자어로 이행하였다. 부화 후 25일째는 전장 8.97~9.60 (9.44±0.16, n=10) mm로 꼬리 지느러미 말단 끝부분이 45°로 완전히 휘어지면서 후기자어로 이행하였다. 부화 후 35일째는 전장 12.0~13.5 (12.7±0.53, n=10) mm로 각 부위별 지느러미 기조 수(등지느러미 iii 7개, 뒷지느러미 iii 6개, 배지느러미 i 7개)가 정수로 도달하면서 치어기로 이행하였다.

REFERENCES

Balon, E.K. 1985. The theory of saltatory ontogeny and life history models revisited. In: Balon, E.K. (ed.), Early life histories

of fishes: New developmental, ecological and evolutionary perspectives, Dr. W. Junk Publisher. Dordrecht, Netherlands, pp. 13-28.

Baek, Y.G. 1978. On the life history of *Microphysogobio yaluensis* (Mori). Korean J. Limnol., 11: 43-49.

Blaxter, J.H.S. 1974. The early life history of fish. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 765pp.

Bánárescu, P. and T.T. Nalbant. 1973. Pisces, Teleostei, Cyprinidae (Gobioninae). Das Tierreich Lieferung 93. Walter de Gruyter, Berlin, Germany, 304pp.

Chae, B.S., H.S. Song and J.Y. Park. 2019. A field guide to the freshwater fishes of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, Korea, pp. 89-126.

Frose, R. and D. Pauly. 2021. Fishbase. World wide web electronic publication. version (7/2021). Available at: www.fishbase.org.

Han, K.H., S.H. Lee, W.I. Seo, D.J. Yoo, D.S. Jin, S.H. Oh and C.C. Kim. 2001. The spawning behavior and early life history of the false dace, *Pseudorasbora parva*. J. Inst. Sci. Yosu National University, 3: 67-76.

He, J., X. He and T. Yan. 1999. Observations on the embryonic development of *Hemibarbus labeo* (Pallas) in lower reaches of Fujiang river. J. Southwest China Nor. Univ., 24: 225-231.

Hong, Y.K., M.H. Ko, S.Y. Park and I.C. Bang. 2015. Egg development and early life history of the endangered species, *Microphysogobio rapidus* (Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 27: 86-94.

Hosoya, K. 1986. Interrelationships of the Gobioninae (Cyprinidae). In: Uyeno, T., R. Arai, T. Taniuchi and K. Matsuura (eds.), Indo-Pacific Fish Biology: Proceeding of the Second International Conference on Indo-Pacific Fishes. Japanese Ichthyological Society, Tokyo, Japan, pp. 484-501.

Kang, E.J. 1991. Phylogenetic study on the subfamily Gobioninae (Pisces: Cyprinidae) from Korea as evidenced by their comparative osteology and myology. Doctoral Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, Korea, 105pp.

Kawase, S. and K. Hosoya. 2010. *Biwia yodoensis*, a new species from the Lake Biwa Yodo River Basin, Japan (Teleostei: Cyprinidae). Ichthyol. Explor. Freshwaters, 21: 1-7.

Kim, C.H., S.W. Yoon, J.G. Kim, H.T. Kim, J.S. Park and J.Y. Park. 2012. Embryonic development and early life history of the endangered species *Microphysogobio koreensis* (Pisces: Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 24: 160-166.

Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim. 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyohak Publishing Co. Ltd., Seoul, Korea, p. 117.

Kim, I.S. and I.J. Kim. 1986. Osteological study of *Abbottina springeri*. Korean J. Fish. Aqua. Sci., 19: 621.

Kim, J.K., J.H. Ryu, S. Kim, D.W. Lee, K.H. Choi, T.Y. Oh, K.S. Hwang, J.N. Kim, H.J. Kwun, H.S. Ji and J.N. Oh. 2011. An identification guide for fish eggs, larvae and juveniles of Korea. Hangeul graphics, Busan, Korea, 275pp.

Kim, K.Y. and I.C. Bang. 2010. Molecular phylogenetic position of

- Abbottina springeri* (Cypriniformes; Cyprinidae) based on nucleotide sequences of RAG1 gene. Korean J. Ichthyol., 22: 273-278.
- Ko, M.H., H.R. Kim, S.Y. Park and I.C. Bang. 2017. Egg development and early life history of the natural monument species *Hemibarbus mylodon* (Pisces: Cyprinidae) in Korea. Korean J. Ichthyol., 29: 101-108.
- Ko, M.H., S.Y. Park, I.R. Lee and I.C. Bang. 2011a. Egg development and early life history of the endangered species *Gobiobotia brevibarba* (Pisces: Cyprinidae). Korean J. Limnol., 44: 136-143.
- Ko, M.H., S.Y. Park and I.C. Bang. 2012. Egg development and early life history of the slender shinner *Pseudopungtungia tenuicarpa* (Pisces: Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 24: 48-55.
- Ko, M.H., I.R. Lee and I.C. Bang. 2013. Egg development and early life history of the endangered species *Gobiobotia naktongensis* (Pisces: Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 25: 9-16.
- Ko, M.H., W.J. Kim, S.Y. Park and I.C. Bang. 2011b. Egg development and early life history of the endangered species *Gobiobotia macrocephala* (Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 23: 198-205.
- Lee, S.H., G.N. Oh, K.S. Kim, Y.S. Oh, K.W. Kang, J.H. Hwang, B.I. Lee, W.K. Lee and K.H. Han. 2008. Embryonic and larval development of goby minnow, *Pseudogobio esocinus*. Dev. Reprod., 12: 283-288.
- Lee, S.H., K.H. Han and D.S. Hwang. 2002. The early life history and spawning behavior of the *Pungtungia herzi*. J. Inst. Sci. Yosu National University, 4: 115-126.
- Lee, S.H., K.H. Han, S.M. Yoon, D.S. Hwang, D.J. Yoo, C.L. Lee, I.S. Kim and Y.M. Son. 2004. Early life history and spawning behavior of *Pseudopungtungia nigra*. Korean J. Ichthyol., 16: 309-316.
- Mogdans, J. 2019. Sensory ecology of the fish lateral-line system: morphological and physiological adaptations for the perception of hydrodynamic stimuli. J. Fish Biol., 95: 53-72. <https://doi.org/10.1111/jfb.13966>.
- Mun, S.J., J.M. Park and K.H. Han. 2020. Morphological development of eggs, larvae and juveniles of the *Hemibarbus longirostris* (Cypriniformes: Cyprinidae) from Korea. Korean J. Ichthyol., 53: 203-208. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0203>.
- Nakajima, J. and N. Onikura. 2015. Larval and juvenile development of pike gudgeon, *Pseudogobio esocinus* (Cyprinidae: Gobioninae). Ichthyol. Res., 62: 268-273. <https://doi.org/10.1007/s10228-014-0436-5>.
- Park, J.M. 2014. The complete mitochondrial genome of Korea gudgeon, genus *Microphysogobio* and genus *Abbottina* (Cypriniformes: Cyprinidae). Master Thesis, Kyungpook National University, Daegu, Korea, pp. 1-61.
- Roberts, W.M., J. Howard and A.J. Hudspeth. 1988. Hair cells: Transduction, tuning and transmission in the inner ear. Ann. Rev. Cell Dev. Biol., 4: 63-92.
- Son, Y.M. 2000. Population ecology of *Abbottina springeri* (Cyprinidae) in the Mushim stream, Korea. Korean J. Ichthyol., 12: 186-191.
- Song, H.B. and Y.M. Son. 2003. Population ecology of *Microphysogobio longidorsalis* (Cyprinidae) from Korea. Korean J. Ichthyol., 15: 303-310.
- Song, H.Y., S.Y. Kim, K.M. Kim, Y.H. Kwak and H.J. Jeon. 2020. Egg development and morphological change of larvae and juveniles, characteristics of spawning sites of the Korean endemic species, *Coreoleuciscus splendidus* (Cypriniformes: Gobioninae) in the Jo-jong stream, Korea. Korean J. Ichthyol., 32: 166-181. <https://doi.org/10.35399/ISK.32.3>.