

낙동강 수계 위천에 서식하는 누치 *Hemibarbus labeo*의 난발생 및 자치어 형태발달

박재민 · 한경호^{1,*}

경상북도 토속어류산업화센터, ¹전남대학교 수산과학과

Development of Eggs, Larvae and Juveniles of the *Hemibarbus labeo* from Wicheon Stream, Nakdong-gang-River by Jae-Min Park and Kyeong-Ho Han^{1,*} (Gyeongsangbuk-Do Native Fish Business Center, Uiseong 37366, Republic of Korea; ¹Fishery Science Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea)

ABSTRACT This study investigated the early life history of *Hemibarbus labeo* from in Wicheon, stream Nakdonggang-River, and compared their characteristics with closely related species. In April 2021, egg formation and development of autonomous fish were observed in fertilized eggs collected at four spawning sites. The size of the fertilized egg was 1.93~2.39 (average 2.22 ± 0.15, n=30) mm. The water temperature was 22.2~24.1 °C, and the hatching time took 109~115 hours. Newly after hatching, the total length of the yolk-sac larvae was 7.50~8.80 (average 7.99 ± 0.46) mm, and the mouth and anus did not develop and had difficulty in being yolk. 6 days after hatching, the preflexion larvae were fed with a total length of 9.49~10.2 (9.78 ± 0.23, n=30) mm. 10 days after hatching, the flexion larvae was 9.97~11.9 (10.7 ± 0.72, n=30) mm in total length, and the tail of the vertebrae began to bend. 20 days after hatching, the postflexion larvae was 12.6~15.2 (13.9 ± 0.77, n=30) mm in total length, and the tailbone was completely bent to 45°. 29 days after hatching, the total length of the juvenile was 16.9~19.8 (18.1 ± 0.91, n=30) mm, and the number of fins reached an integer with 10 dorsal fins, 9 anal fins, and 7 ventral fins. The distribution of melanophore, such as the head, the center of the body, and the upper part of the fin, was different from that of the allied species during the postflexion larvae period, so the morphological characteristics could be distinguished.

Key words: *Gobioninae*, *Hemibarbus labeo*, egg, larvae, juvenile

서 론

어류의 난 발생 및 초기생활사에 대한 연구는 종의 생물학적 특성에 대한 정보를 바탕으로 대상 종의 인공종자 생산 등 복원을 위한 연구에 다각도로 활용할 수 있기 때문에 매우 중요하다 (Hong *et al.*, 2015). 또한 난의 특성 및 발생과정 중 일어나는 종고유의 특징 등 생물학적 자료를 기반으로 추후 종 보존, 보호 및 증식 등에 활용이 가능하다 (Song and Choi, 2000).

누치 (*Hemibarbus labeo*)는 잉어목 (Cypriniformes) 잉어과 (Cyprinidae) 모래무지아과 (Gobioninae)에 속하는 어류로 압록

강에서 낙동강까지의 서해와 남해로 흐르는 하천에 분포한다. 국외에는 아무르강 수계, 중국, 대만, 북베트남 및 일본에도 있다 (Kim *et al.*, 2005; Chae *et al.*, 2019). 누치속 (*Hemibarbus*) 어류는 전 세계적으로 20종이 알려져 있으며, 우리나라에는 누치를 비롯한 참마자 (*H. longirostris*), 어름치 (*H. mylodon*) 등 3종이 분포하고 있다.

누치의 형태적 특징은 주둥이가 뾰족하고 말굽 모양의 입이 아래로 향해 있어 바닥에 있는 먹이를 잘 섭식할 수 있도록 발달되어 있다 (Kim, 1997). 본 연구에서 누치는 하천에서 같은 속 어류인 참마자와 함께 서식하는 것이 관찰되었고, 미성어기에는 옆줄 바로 위쪽으로 이어져 있는 작은 반점 개수에 따라 구분할 수 있으나 (Kim, 1997; Kim *et al.*, 2005; Chae *et al.*, 2019), 유어 시기에는 형태가 유사하여 구분하기 어려워 초기생활사에서 구

저자 직위: 박재민 (연구사), 한경호 (교수)

*Corresponding author: Kyeong-Ho Han Tel: 82-61-659-7163,

Fax: 82-61-659-7169, E-mail: aqua05@jnu.ac.kr

체적인 연구가 필요하다.

누치가 속해 있는 모래무지아과 어류의 초기생활사 연구는 참붕어 *Pseudorasbora parva* (Han *et al.*, 2001), 돌고기 *Pungtungia herzi* (Lee *et al.*, 2002), 감돌고기 *Pseudopungtungia nigra* (Lee *et al.*, 2004), 모래무지 *Pseudogobio esocinus* (Lee *et al.*, 2008), 돌상어 *Gobiobotia brevibarba* (Ko *et al.*, 2011a), 꾸구리 *G. macrocephala* (Ko *et al.*, 2011b), 모래주사 *Microphysogobio koreensis* (Kim *et al.*, 2012), 가는돌고기 *P. tenuicorpa* (Ko *et al.*, 2012), 흰수마자 *G. naktongensis* (Ko *et al.*, 2013), 여울마자 *M. rapidus* (Hong *et al.*, 2015), 어름치 (Ko *et al.*, 2017), 점물개 *Squalidus multimaculatus* (Song *et al.*, 2017), 줄물개 *Gnathopogon strigatus* (Kim *et al.*, 2019), 참마자 (Mun *et al.*, 2020), 쉬리 *Coreoleuciscus splendidus* (Han *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2019; Song *et al.*, 2020), 물개 *S. japonicus coreanus* (Kim *et al.*, 2021), 왜매치 *Abbottina springeri* (Park *et al.*, 2021), 참중고기 *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae* (Park and Han, 2022a), 긴물개 *S. gracilis majimae* (Park *et al.*, 2005; Park and Han, 2022b) 등이 연구되었다. 누치는 중국 푸젠강 개체의 배발생 (He *et al.*, 1999), 압록강 누치의 자치어 발달 (Yang *et al.*, 2014) 등이 연구되었으나 지금까지 국내에서는 초기생활사가 관찰된 기록은 없다. 따라서 본 연구에서는 낙동강 수계 위천에 서식하는 누치의 난발생 과정 및 자치어 형태발달을 관찰해 초기생활사를 규명하고 그 특징을 근연종과 비교하고자 한다.

재료 및 방법

1. 시료 확보

연구에 사용된 시료는 경북 의성군 비안면에 위치한 위천에서

2021년 4월 20일과 4월 23일 2회에 걸쳐 산란장 4곳에서 오전 11시부터 오후 14시까지 산란행동을 육안으로 관찰하였고, 산란 직후 스테인레스 재질의 거름망(망목 1.5 mm)을 이용해 모래와 함께 난을 수거하여 연구실로 운반하였다.

2. 난발생 및 자치어 형태발달

난 크기 측정을 위해 수정란은 30개를 선택해 실체현미경(JP SMZ800, Nikon, Tokyo, Japan)으로 측정하였고 난발생 과정은 단계별로 관찰하였다. 난발생 과정 동안 수온은 22.2~24.1°C (평균 23.1±0.95°C)였고, 난 관리는 패트리디쉬(지름 15 cm)에 수용하여 1일/2회 50% 환수해주었다. 부화된 자어는 유리사각수조(25×25×25 cm)에 수용하였고, 스피니저과기를 이용해 순환여과식으로 사육하였다. 먹이는 난황흡수 후부터 알테미아(*Artemia* sp. nauplius) 부화 유생을 공급하였고, 부화 후 29일 이후부터는 초기 미립자사료(Lovelarva, Japan)를 공급하였다. 자치어 형태발달 관찰은 부화 직후부터 30마리를 선택하여 실체현미경으로 관찰 후 스케치하였고, 크기는 0.01 mm까지 측정하였다. 자치어 발달단계별 기준은 Ji *et al.* (2020)에 따랐다.

결 과

1. 산란행동

산란장소는 하천의 물 흐름이 약한 곳이었고, 수심은 30~50 cm로 바닥에는 모래와 자갈이 깔려 있었다. 오전 11시부터 수컷 누치는 산란장소마다 세력권을 형성하였고, 다른 수컷이 산란장소 주변에 접근하면 쫓아내는 텃세 행동을 하였다. 암컷은 주변을 유영하면서 수컷이 있는 산란장소에 진입하면 자리를 잡고



Fig. 1. The spawning ground (white a circular dotted line) of the *Hemibarbus labeo*.

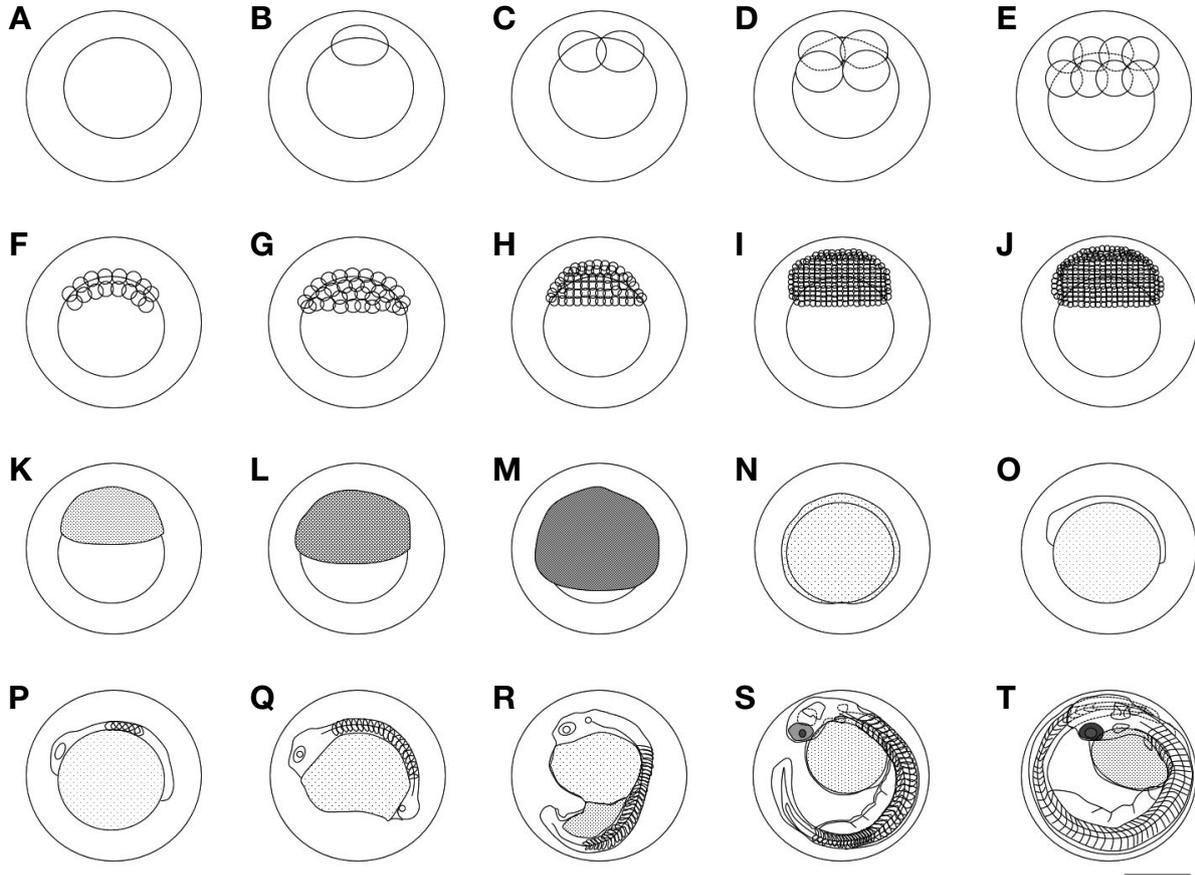


Fig. 2. Egg development stages of *Hemibarbus labeo*. A: Fertilized egg; B: Blastodisc; C: 2 cells; D: 4 cells; E: 8 cells; F: 16 cells; G: 32 cells; H: 64 cells; I: Morula stage; J: Blastula stage; K: Early gastrula stage; L: Middle gastrula stage; M: Late gastrula stage; N: Closure of the elliptical shape; O: Formation of embryo; P: 2~5 myotomes; Q: Formation of Kuffer's vesicle; R: Tail begin to move; S: Development of tail fin; T: Embryo just before hatching. Scale bar = 1.00 mm.

방란과 동시에 수컷의 방정이 연이어 관찰되었고, 산란 시에는 바닥 모래와 함께 분진이 일어났다. 산란을 마친 암컷은 다시 산란장소를 벗어났고 이후 다시 산란장소로 돌아와 같은 방식으로 산란하였다. 오후 14시경 산란을 모두 마친 수컷과 암컷은 산란장소를 벗어났고, 산란장소에는 깊이 10~15 cm 정도로 패여 있는 산란 흔적이 관찰되었다(Fig. 1).

2. 난의 형태 및 크기

산란장 4곳에서 채집된 수정란은 포도송이처럼 붙어 있거나 하나씩 떨어져 있었다. 산란장소별 채집된 난의 개수는 79~137 개로 난의 형태는 원형으로 표면에 점착물질이 있었고 물에 가라앉는 성질을 가진 침성점착란이었다. 난의 크기는 1.93~2.39 (평균 2.22 ± 0.15 , $n = 30$) mm였다.

3. 난발생 과정

수정란은 물을 흡수하기 시작하여 난막이 형성되어 있었고 (Fig. 2A), 수정 후 1시간에는 동물극 쪽에 배반이 형성되었으며

(Fig. 2B), 수정 후 2시간에는 배반에 형성된 난할이 같은 크기로 나누어지면서 2세포기에 달하였다(Fig. 2C). 수정 후 2시간 30분에는 같은 크기로 난할이 나누어지면서 4세포기에 달하였고(Fig. 2D), 수정 후 3시간에는 8세포기에 달하였으며(Fig. 2E), 수정 후 3시간 30분에는 16세포기에 달하였다(Fig. 2F). 수정 후 4시간에는 32세포기에 달하였고(Fig. 2G), 수정 후 4시간 30분에는 64세포기에 달하였으며(Fig. 2H), 수정 후 5시간에는 상실기에 달하였다(Fig. 2I). 수정 후 7시간 30분에는 포배기에 달하였고(Fig. 2J), 수정 후 12시간에는 초기 낭배기에 달하였다(Fig. 2K). 수정 후 15시간에는 중기 낭배기에 달하였고(Fig. 2L), 수정 후 18시간 30분에는 말기 낭배기에 달하였다(Fig. 2M). 수정 후 21시간에는 원구가 폐쇄되면서 난황 가장자리에는 배체가 발달하기 시작하였다(Fig. 2N). 수정 후 35시간에는 배체가 뚜렷하게 발달하면서 머리 부분에는 심장이 분화하였다(Fig. 2O). 수정 후 50시간 30분에는 머리에 안포가 형성되었고, 배체에는 2~5개의 근절이 발달하였다(Fig. 2P). 수정 후 59시간에는 꼬리 쪽에 Kuffer's vesicle이 형성되었고, 근절 수는 15~20개로 증가하

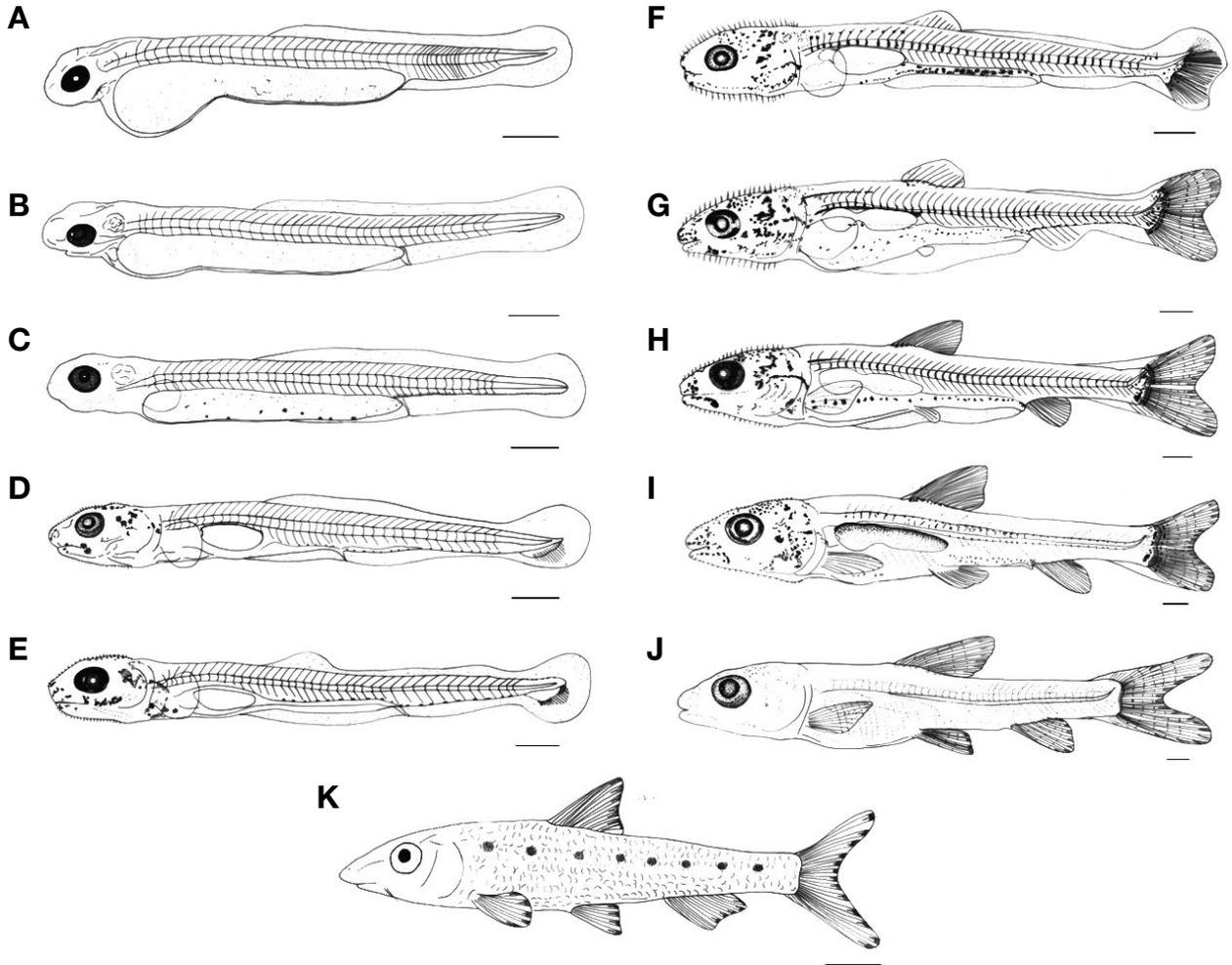


Fig. 3. Larvae and juveniles development of *Hemibarbus labeo*. A: Newly hatched larvae, 7.99 ± 0.46 mm in total length (TL); B: 1 days after hatching (DAH), 9.04 ± 0.16 mm in TL; C: 3 DAH, 9.55 ± 0.13 mm in TL; D: 6 DAH, 9.78 ± 0.23 mm in TL; E: 10 DAH, 10.7 ± 0.72 mm in TL; F: 14 DAH, 11.2 ± 0.73 mm in TL; G: 20 DAH, 13.9 ± 0.77 mm in TL; H: 24 DAH, 15.9 ± 0.79 mm in TL; I: 29 DAH, 18.1 ± 0.91 mm in TL; J: 51 DAH, 20.8 ± 0.95 mm in TL; K: 150 DAH, 11.7 ± 1.75 cm in TL. Scale bars = 1.00 mm, (K: 1.00 cm).

였다(Fig. 2Q). 수정 후 72시간에는 Kuffer's vesicle이 소실되었고, 꼬리와 난황은 분리되면서 배체가 움직이기 시작하였다. 이 시기의 근절 수는 28~30개로 증가하였다(Fig. 2R). 수정 후 85 시간에는 눈에 흑색소포가 침착하였고, 꼬리의 길이는 머리 앞쪽까지 길어졌으며, 머리에는 뇌가 발달하였다(Fig. 2S). 수정 후 107시간에는 눈에 침착한 흑색소포는 더욱 짙어졌고, 꼬리의 길이는 머리 위쪽을 넘어섰으며, 머리 옆쪽에는 한 쌍의 막으로 된 가슴지느러미가 발달하였다(Fig. 2T). 수정 후 109시간에는 배체의 꼬리가 난막을 뚫고 나오면서 부화하기 시작하였고, 수정 후 112시간에는 수정란의 50%가 부화하였으며, 수정 후 115시간에는 모든 개체의 부화가 완료되었다.

4. 자치어 형태발달

부화 직후 자어는 전장 7.50~8.80 (평균 7.99 ± 0.46, n = 30) mm로 눈에는 동공이 발달되어 있었고, 눈 전체가 검은색으로

침착되어 있었다. 몸통 중반부인 등 쪽에서 시작된 막지느러미는 꼬리를 따라 난황 시작점까지 이어져 있었다. 입은 발달되지 않았으며, 항문은 분화하기 시작하였다. 부화 직후 움직임은 없었으며, 시간이 경과할수록 꼬리를 이용해 움직이기 시작하였다. 머리 뒤쪽 양옆에는 막으로 된 한 쌍의 가슴지느러미가 있었고, 꼬리지느러미는 부채꼴로 분화하기 시작하였으며, 근절 수는 42개(16+26)였다(Fig. 3A).

부화 후 1일째 난황자어는 전장 8.90~9.36 (평균 9.04 ± 0.16, n = 30) mm로 입이 발달하기 시작하였고, 항문은 완전히 열리지 않았다. 눈에는 동공을 중심으로 황색의 색소가 발달하였고, 난황 아래쪽에는 나뭇가지 모양의 흑색소포가 침착하였다(Fig. 3B).

부화 후 3일째 난황자어는 전장 9.39~9.78 (평균 9.55 ± 0.13, n = 30) mm로 난황의 아래쪽에 침착되었던 나뭇가지 모양의 흑색소포는 더욱 증가하였고, 항문에서부터 미병부 아래쪽을 따라

나뭇가지 모양의 흑색소포가 침착하였다. 미병부 위쪽에는 흑색소포가 일부 침착되었고, 머리 쪽의 심장 윗부분과 아가미 쪽에도 침착되었다(Fig. 3C).

부화 후 6일째 전기자어는 전장 9.49~10.2 (평균 9.78±0.23, n=30) mm로 난황은 모두 흡수되었고, 먹이생물 섭취를 시작하였으며, 전기자어기로 이행하였다. 아래턱과 머리 윗부분에는 돌기가 발달하였고, 소화관은 일직선으로 발달하였다. 등지느러미는 분화하기 시작하였으며, 항문이 완전히 발달하면서 항문을 기점으로 막지느러미가 나누어졌다. 꼬리지느러미 말단 아래쪽에는 기조가 발달하기 시작하였다. 복부에는 타원형의 부레가 발달하면서 수면으로 유영하기 시작하였다. 흑색소포는 아래턱과 머리 위쪽, 꼬리지느러미 기조 윗부분에 침착하였고, 머리 뒤쪽부터 몸 정중앙의 척추를 따라 꼬리 끝까지 점 모양으로 침착하였다(Fig. 3D).

부화 후 10일째 중기자어는 전장 9.97~11.9 (평균 10.7±0.72, n=30) mm로 꼬리 끝부분의 척추 말단이 상단 부분으로 휘어지면서 중기자어기로 이행하였다. 꼬리 끝의 아래쪽에는 기조가 발달하기 시작하였고, 흑색소포는 소화관 위쪽에 침착하였으며, 부레의 크기는 더욱 커졌다(Fig. 3E).

부화 후 14일째 중기자어는 전장 10.4~12.4 (평균 11.2±0.73, n=30) mm로 등지느러미에는 9개의 기조가 발달하였고, 막으로 연결되어 있던 꼬리지느러미와 분리되었으며, 꼬리지느러미 기조 수는 19개(10+9)로 발달하였다. 흑색소포는 몸 중앙으로 이어졌던 점 모양의 흑색소포 위쪽으로 일렬로 발달하기 시작하였고, 부레 위쪽에는 나뭇가지 모양으로 침착하였다(Fig. 3F).

부화 후 20일째 후기자어는 전장 12.6~15.2 (평균 13.9±0.77, n=30) mm로 꼬리 끝부분의 척추 말단이 45°로 완전히 휘어지면서 후기자어기로 이행하였다. 뒷지느러미에는 6개의 기조가 발달하면서 꼬리지느러미와 완전히 분리되었고, 꼬리지느러미는 상엽과 하엽으로 나누어져 발달하였으며, 꼬리지느러미 기조 수는 20개(10+10)로 증가하였다. 부레는 두 갈래로 나누어져 발달하였고, 흑색소포는 등지느러미 시작점에 새롭게 침착하였으며, 입 끝부분과 아가미 뚜껑, 머리 윗부분에 침착된 흑색소포는 증가하였다(Fig. 3G).

부화 후 24일째 후기자어는 전장 14.9~17.1 (평균 15.9±0.79, n=30) mm로 뒷지느러미 기조 수는 8개로 증가하였고, 배지느러미가 분화하면서 기조가 발달하기 시작하였다. 흑색소포는 꼬리 끝부분의 하미축골 위에 1개의 반점 모양으로 발달하였다(Fig. 3H).

부화 후 29일째 치어는 전장 16.9~19.8 (평균 18.1±0.91, n=30) mm로 각 부위별 지느러미 기조 수는 등지느러미 10개, 뒷지느러미 9개, 배지느러미 7개로 정수에 달하면서 치어기로 이행하였다. 머리 윗부분과 아래턱에 발달한 돌기는 감소하였다. 아가미 뚜껑과 머리 윗부분에 침착되었던 흑색소포는 범위가 감소하였고, 꼬리 끝부분에 침착되었던 1개의 반점 모양도 감소하

였다(Fig. 3I).

부화 후 51일째 치어는 전장 19.7~22.3 (평균 20.8±0.95, n=30) mm로 몸에는 비늘이 발달하였고, 아가미 뚜껑과 머리 윗부분, 몸통 중앙, 꼬리 끝에 침착되었던 흑색소포는 모두 소실되었으며, 머리 위쪽과 아래턱에 발달하였던 돌기는 모두 소실되었다(Fig. 3J).

부화 후 150일째 치어는 전장 10.0~13.5 (평균 11.7±1.75, n=30) cm로 몸 전체에는 비늘이 완전히 형성되었고, 정면으로 주둥이 끝에 위치한 입은 아래쪽으로 발달하였고 입 주변에는 1쌍의 수염이 발달하였다. 체측에는 옆줄 위쪽으로 반점 모양의 흑색소포가 8~12개 발달하였다(Fig. 3K).

고 찰

본 연구는 낙동강 수계 위천에 서식하는 누치의 초기생활사를 관찰하여 근연종인 모래무지아과 어류와 특징을 비교하였다.

누치의 산란행동은 수컷이 산란장 주변으로 세력권을 형성해 접근하는 다른 수컷에게 텃세 행동을 보였고, 암컷은 산란장에 접근 시 산란과 방정이 이루어졌으며, 산란이 끝난 후 수컷은 산란장소를 보호하지 않았다. 중국 푸젠강 누치를 비롯해 같은 속 어류인 참마자 또한 모래와 자갈 바닥에 포도송이 모양의 알을 붙이는 것으로 알려져 있으며(Uchida, 1939; Kim, 1997; He *et al.*, 1999), 위천에 서식하는 누치도 같은 양상을 보였다. 그러나 어름치의 경우 산란 후 산란탐을 지어 난과 자어의 초기 생존율을 높이고(Ko *et al.*, 2017), 참봉어는 나뭇가지에 알을 부착시켜 수컷이 보호하였으며(Han *et al.*, 2001), 감돌고기는 껍질의 산란장에 탁란하거나 바위 아래에 부착시키며 산란장소는 보호하지 않았다(Lee *et al.*, 2004). 이처럼 모래무지아과 어류 내에서도 다양한 산란행동을 나타냈으며, 누치는 산란장에 세력권을 형성해 산란하는 점에서 지금까지 연구된 모래무지아과 어류와 차이를 보인다. 또한 같은 속 어류인 참마자의 자연 산란행동이 규명되지 않아 향후 추가적인 비교 연구가 필요하다.

산란 직후 채집된 수정란은 산란 후 바닥이 움푹 패인 곳에서 확인되었다. 산란장은 4곳을 대상으로 난을 채집하였으며, 채집된 난의 개수는 79~137개로 이 중 68개(50%)가 배반형성 진행중이었고, 55개(40%)는 세포형성기가 지난 낭배기 및 배체형성기에 달하였으며, 14개(10%)는 눈에 흑색소포가 형성되어 있었다. 같은 산란장 내에서 확인된 수정란의 발생단계 차이는 산란 시간에 의한 차이로 보이며, 수일간 여러 차례 같은 산란장에서 산란하는 것으로 보였다. 본 연구에서는 산란장 내에서 수정란을 채집하였으나 정확한 산란량을 파악하기는 어려워 향후 누치의 정확한 산란량 파악을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

누치의 수정란은 표면에 점착성을 가진 침성란이었고, 크기는

Table 1. Time required for embryo development stages of *Hemibarbus labeo* from Korea

Stage	References *WT.	He <i>et al.</i> , 1999	Present study	Fig. 2**
		12.5~18.5°C	22.2~24.1°C	
Zygote period	Insemination	–	–	–
	Swelling	–	–	–
	Blastodisc	10~15:00	01:00	B
Cell cleave period	2 cells	03:45	02:00	C
	4 cells	05:45	02:30	D
	8 cells	07:15	03:00	E
	16 cells	08:40	03:30	F
	32 cells	10:00	04:30	G
	64 cells	11:20	05:00	H
	Blastula period	Morula	–	07:30
Blastula		16:35	10:30	J
Gastrula period	Early gastrula	32:30	12:00	K
	Middle gastrula	47:30	15:00	L
	Late gastrula	52:05	18:30	M
Embryonic period	Formation of embryo	54:45	21:00	N
	2~5 myotomes	65:30	50:30	P
	15~20 myotomes	94:30	59:00	Q
	28~30 myotomes	112:00	72:00	R
Hatching period	Hatching start	183:30~195	109:00	T
	Hatching complete	207:30	115:00	–

*WT: water temperature, **Egg development photographs (Fig. 2) of *H. labeo* (Present study)

평균 2.22 mm였으며, 중국 푸젠강 개체는 평균 2.55 mm (He *et al.*, 1999)로 유사하였다. 다른 모래무지아과 어류는 참붕어 1.86 mm (Han *et al.*, 2001), 가는돌고기 1.96 mm (Ko *et al.*, 2012), 모래무지 1.98 mm (Lee *et al.*, 2008), 쉬리 1.61 mm (Song *et al.*, 2020), 모래주사 1.0 mm (Kim *et al.*, 2012), 배가사리 *M. longidorsalis* 1.03 mm (Song and Son, 2003), 돌상어 1.24 mm (Ko *et al.*, 2011a), 여울마자 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 누치보다 작았고, 돌고기 2.1 mm (Lee *et al.*, 2002), 감돌고기 2.18 mm (Lee *et al.*, 2004), 참마자 2.01 mm (Mun *et al.*, 2020), 어름치 2.21 mm (Ko *et al.*, 2017)는 누치와 크기가 유사하였다.

수온은 어중에 따라 생활사와 생태적 특성에 따른 적정 수온 범위를 가지고, 초기발생에 있어서도 난발생 및 자치어의 성장과 생존에 영향을 미치는 중요한 환경요인 중 하나이다 (Yoon *et al.*, 2007; Cho *et al.*, 2015).

누치의 부화 소요시간은 수온 23.1°C일 때 109~115시간이 소요되었고, 푸젠강 개체는 수온 12.5~18.5°C일 때 195시간 (He *et al.*, 1999)이 소요되어 본 연구의 위천 개체보다 오랜 시간이 소요되었다 (Table 1). 부화시간의 차이는 수온에 영향을 받은 것으로 판단되나 정확한 비교를 위해서는 같은 수온 조건

에서 비교 실험이 필요할 것으로 보인다. 다른 모래무지아과 어류는 여울마자 수온 20~22°C 72시간 (Hong *et al.*, 2015), 어름치 수온 20°C 72시간 (Ko *et al.*, 2017), 모래주사 수온 23°C 29시간 (Kim *et al.*, 2012), 돌마자 수온 20~25°C 20시간 (Baek, 1978), 흰수마자 수온 23°C 26시간 (Ko *et al.*, 2013), 꾸구리 수온 23°C 107시간 (Ko *et al.*, 2011b), 쉬리는 수온 20°C 98시간 (Song *et al.*, 2020)으로 누치보다 부화시간이 짧았고, 참붕어는 수온 15.5~18.5°C 183시간 (Han *et al.*, 2001), 돌고기 수온 19°C 186시간 (Lee *et al.*, 2002), 감돌고기 수온 18.5~19.5°C 189시간 (Lee *et al.*, 2004), 가는돌고기 수온 22~24°C 240시간 (Ko *et al.*, 2012), 모래무지 수온 19°C 164시간 (Lee *et al.*, 2008), 돌상어 수온 23°C 120시간 (Ko *et al.*, 2011a), 참마자는 수온 18~20°C 175시간 (Mun *et al.*, 2020)으로 누치보다 부화시간이 길었다.

수정란의 크기는 부화자어의 크기와 직접적으로 비례하기 때문에 수정란이 작은 종은 부화자어의 크기도 작으며, 수정란의 크기가 크면 부화시간이 상대적으로 길어지는 결과와 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다 (Sado and Kimura, 2002; Lee *et al.*, 2013).

누치의 부화자어 크기는 7.50~8.80 (평균 7.99±0.46) mm, 압록강 개체는 7.92 mm (Yang *et al.*, 2014)로 유사하였고, 푸젠강

개체는 6.62 mm (He *et al.*, 1999)로 작아 차이를 보였다. 참붕어 5.16 mm (Han *et al.*, 2001), 돌고기 6.0 mm (Lee *et al.*, 2002), 쉬리 5.31 mm (Song *et al.*, 2020), 감돌고기 5.82 mm (Lee *et al.*, 2004), 모래무지 4.61 mm (Lee *et al.*, 2008), 돌상어 5.5 mm (Ko *et al.*, 2011a), 어름치 6.6 mm (Ko *et al.*, 2017)로 누치보다 작았고, 가는돌고기 8.6 mm (Ko *et al.*, 2012), 참마자 8.10 mm (Mun *et al.*, 2020)로 누치보다 평균 크기가 컸다.

근절 수는 누치 42개, 푸젠강 개체 45개 (He *et al.*, 1999)로 차이를 보였고, 같은 속 어류인 참마자는 40개 (Mun *et al.*, 2020)로 위천 개체는 푸젠강 개체보다 적었고, 참마자보다 근절 수가 많았다.

부화자어의 형태적 특징을 비교한 결과 전장 대비 난황 차지 비율은 위천 개체 67.7%, 압록강 개체 70.2%, 푸젠강 개체 71.6%로 위천 개체가 난황을 차지하는 비율이 가장 낮았다. 전장 대비 두장은 위천 개체 11.8%, 압록강 개체 14.8%, 푸젠강 개체 9.43%로 차이를 보였다. 위천과 압록강 개체는 꼬리지느러미가 부채꼴 모양으로 발달하였으나 푸젠강 개체는 분화하지 않아 형태적으로 차이를 보였다. 또한 위천과 압록강 개체는 눈에 흑색소포가 침착한 반면 푸젠강 개체는 침착하지 않아 발달양상에도 차이를 보여 푸젠강 개체의 경우 초기생활사에 대한 전반적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 같은 속 어류인 어름치는 난황이 머리 크기에 비해 매우 컸고 체형이 일직선으로 뻗어져 있는 누치와 달리 꼬리 끝이 윗부분으로 휘어져 있었다. 참마자는 난황 위쪽과 미병부에 흑색소포가 발달한 점에서 형태적인 차이를 나타냈다.

본 연구에서는 자어 시기에 두부와 몸의 측면에 막대 모양의 돌기가 관찰되었는데 이는 표면신경소구 (superficial neuromast)를 이루는 모세포의 섬모뿔음으로 젤라틴 돔과 같은 구조인 cupulae (cupula)를 형성하고 있으며 (Roberts *et al.*, 1988), 기능과 형태가 척추동물의 청각 및 전정시스템과 같다고 알려져 있다 (Iwai, 1967, 1972; Mogdans, 2019). 이와 관련된 연구로는 모래무지아과 어류 쉬리 (Song *et al.*, 2020), 왜매치 (Park *et al.*, 2021), 물개 (Kim *et al.*, 2021), 긴물개 (Park and Han, 2022b), 버들매치 *A. rivularis*, *Biwia zezera*, *S. gracilis*의 3종 (Nakamura, 1969) 및 일본산 모래무지 (Nakajima and Onikura, 2015)에서 확인되었다 (Kim *et al.*, 2021). 자어 시기의 cupulae 발달과정은 먹이섭식과 서식지 선택 등 초기 생존과 연관되어 있으며 (Iwai, 1972; Mukai and Kobayashi, 1991; Nakajima and Onikura, 2015), cupulae는 난황 흡수 이후 먹이 섭식 시기에 최대 발달하며 후기자어 시기에는 최대한으로 짧아져 관찰되지 않는다 (Nakajima and Onikura, 2015; Song *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2021).

누치는 부화 후 6일째부터 cupulae가 관찰되었고, 긴물개 (Park and Han, 2022b) 부화 후 3일째, 물개 (Kim *et al.*, 2021) 부화 후 2일, 쉬리 (Song *et al.*, 2020) 부화 후 4일, 왜매치 (Park

et al., 2021) 부화 후 2일로 나타났다. 선행연구 결과와 같이 먹이 섭취가 시작되는 시점부터 머리를 비롯해 몸의 측면까지 발달되었고, cupulae의 발달과정이 자어의 초기 먹이 섭식과 관련 있는 것으로 보인다. 누치는 치어기인 부화 후 51일에 cupulae가 완전히 소실되었고, 다른 유연종들은 긴물개 (Park and Han, 2022b) 부화 후 50일, 물개 (Kim *et al.*, 2021) 부화 후 40일, 쉬리 (Song *et al.*, 2020) 부화 후 13일, 왜매치 (Park *et al.*, 2021) 부화 후 20일, 참마자 (Mun *et al.*, 2020) 부화 후 32일이 경과 하면서 cupulae가 소실되었고, 후기자어 시기에 cupulae가 소실되는 쉬리 (Song *et al.*, 2020), 왜매치 (Park *et al.*, 2021)보다 누치, 참마자 (Mun *et al.*, 2020), 물개 (Kim *et al.*, 2021)와 긴물개 (Park and Han, 2022b)는 치어기 이후까지 관찰되는 것으로 보아 cupulae의 출현기간은 동일한 모래무지아과 내에서도 속 또는 종에 따라 cupulae의 발달 및 유지기간이 다른 것으로 보인다.

후기자어 이행시기와 크기는 누치 부화 후 20일 전장 12.6~15.2 (평균 13.9±0.77) mm로 압록강 개체는 부화 후 14일 전장 12.2~13.7 (평균 13.0±0.53) mm (Yang *et al.*, 2014)로 시기는 압록강 개체가 빨랐고, 크기는 유사하였다. 같은 속 어류인 어름치는 부화 후 14일 평균 전장 13.5±0.23 mm (Ko *et al.*, 2017), 참마자는 부화 후 12일 평균 전장 12.2±0.55 mm (Mun *et al.*, 2020)로 누치보다 이행시기는 모두 빨랐고, 어름치는 누치와 크기가 유사하였으며, 참마자는 누치보다 크기가 작아 차이를 보였다.

후기자어 시기 형태적 특징에서 전장 대비 두장이 차지하는 비율은 위천 개체 24.5%, 압록강 개체 20.4%로 위천 개체가 다소 컸으며, 전장 대비 항문장 비율은 위천 개체 65.5%, 압록강 개체 65.3%로 유사하여 큰 차이를 보이지 않았다. 위천 개체는 막으로 연결되었던 각 부위별 지느러미가 모두 분리되었고, 흑색소포는 입 주변, 머리 상단부분, 아가미 뚜껑, 복부 중앙, 미병부, 몸 정중앙을 따라 침착하였으며, 등지느러미 및 뒷지느러미 기조 시작점, 꼬리지느러미 기조 위쪽에도 침착하였다. 압록강 개체는 각 부위별 지느러미가 모두 분리되어 있었고, 흑색소포는 입 주변, 아가미 뚜껑, 소화관, 꼬리지느러미 기조 시작점에 침착하였다. 압록강 개체 (Yang *et al.*, 2014)는 머리 상단부분, 미병부, 몸 중앙에 흑색소포가 침착하지 않은 점에서 위천 개체와 차이를 보였다. 이처럼 위천 개체는 중국에 분포하는 압록강 개체와 후기자어 시기의 형태적 차이점을 확인할 수 있었다. 그러나 구체적인 비교 연구를 위해 발달단계에 따라 계층 부위별 상대성장 측정으로 추가적인 비교 연구를 통해 더욱 명확한 차이점 확인이 필요할 것으로 사료된다.

같은 속 어류인 참마자 (Mun *et al.*, 2020)는 지느러미가 모두 분리되었고, 머리 상단부분과 미병부에 흑색소포가 침착되었다. 어름치 (Ko *et al.*, 2017)는 지느러미가 모두 분리되었고, 머리 상단부분과 머리가 끝나는 지점부터 등지느러미 시작점까지 등 쪽

Table 2. Comparison of egg and larvae, juveniles characteristic in Gobiioninae 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>Hemibarbus labeo</i> (in Wicheon stream)	2.22 ± 0.15	—	109h (22.2~24.1°C)	7.99 ± 0.46	20 days (13.9 ± 0.77)	29 days (18.1 ± 0.91)	Present study
(Fujiang River in China)	2.55	—	195h (12.5~18.5°C)	6.62	—	—	He <i>et al.</i> , 1999
(Yalu River in China)	—	—	—	7.92 ± 0.29	14 days (13.0 ± 0.53)	32 days (24.4 ± 1.52)	Yang <i>et al.</i> , 2014
<i>H. longirostris</i>	2.01 ± 0.18	1,750 ± 250 (1,500~2,000)	175h (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. mylodon</i>	2.21 ± 0.06	4,309 ± 1,038 (3,158~5,526)	72h (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>Abbottina springeri</i>	1.08 ± 0.02	1,662 ± 437 (1,225~2,100)	72h (21~23°C)	2.16 ± 0.04	9.44 ± 0.16	12.7 ± 0.53	Park <i>et al.</i> , 2021
<i>Macrophysogobio rapidus</i>	0.63 ± 0.02	2,298 ± 639 (1,602~3,240)	72h (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. korensis</i>	1.0 ± 0.04	3,331 ± 935 (2,041~4,404)	29h (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. yaluensis</i>	0.5	672 ± 376 (276~1,230)	20h (22~25°C)	0.7	—	—	Baek, 1978
<i>M. longidorsalis</i>	1.03 ± 0.07	7,334 (5,133~8,787)	—	—	—	—	Song and Son, 2003
<i>Pseudorasbora parva</i>	1.86	323 (250~420)	183h (15.5~18.5°C)	5.16	32 days (9.65)	48 days (11.3)	Han <i>et al.</i> , 2001
<i>Pungtungia herzi</i>	2.1	1,640 (1,400~1,860)	186h (19°C)	6.0	32 days (12.4)	45 days (14.6)	Lee <i>et al.</i> , 2002
<i>Pseudopungtungia nigra</i>	2.18	1,600 (1,400~1,900)	189h (18.5~19.5°C)	5.82	20 days (10.8)	44 days (14.5)	Lee <i>et al.</i> , 2004
<i>P. tenuicorpa</i>	1.96 ± 0.08	218 ± 76 (87~345)	240h (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>Pseudogobio esocinus</i>	1.98 ± 0.19	—	164h (19°C)	4.61 ± 0.83	29 days (9.91)	42 days (16.2)	Lee <i>et al.</i> , 2008
<i>Gobiobotia macrocephala</i>	0.89 ± 0.04	1,271 ± 908 (205~3,361)	107h (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. breviparba</i>	1.24 ± 0.07	744 ± 401 (259~1,642)	120h (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>G. naktongensis</i>	0.74 ± 0.08	1,015 ± 199 (750~1,365)	26h (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>Coreoleuciscus splendidus</i>	1.61 ± 0.05	—	98h (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

전반부, 복부에서 항문까지 흑색소포가 침착되어 있었다. 누치 후기자어의 지느러미 발달양상은 근연종들과 유사하였으나 흑색소포 분포 위치가 근연종들보다 다양한 점에서 차이를 보였다.

치어기 이행시기와 크기는 누치 부화 후 29일 전장 16.9~19.8 (평균 18.1±0.91) mm, 압록강 개체는 부화 후 32일 전장 22.0~27.0 (평균 24.4±1.52) mm로 이행시기는 위천 개체가 빨랐고 크기는 압록강 개체가 컸다. 같은 속 어류인 으뜸치는 부화 후 21일 평균 전장 14.8±0.45 mm (Ko *et al.*, 2017), 참마자 부화 후 25일 전장 16.5~15.9 (평균 16.1±0.27) mm (Mun *et al.*, 2020)로 이행시기는 누치보다 빨랐고 크기는 으뜸치, 참마자보다 누치가 컸다(Table 2).

본 연구를 종합한 결과 누치의 초기생활사 특징에서 중국에 분포하는 압록강 개체와는 부화자어 형태가 유사하였으나 푸젠강 개체와 큰 차이를 보인 점, 후기자어 시기의 경우 압록강 개체는 머리 상단부분, 미병부, 몸 중앙에 흑색소포가 침착하지 않은 점에서 위천 개체와 큰 차이를 보였다. 부화자어 크기를 비교한 모래무지아과 어류 가운데 누치는 가는돌고기, 참마자보다 작았고 이외 종들 가운데는 부화자어 크기가 가장 컸다. 후기자어의 형태적 특징은 흑색소포가 입 주변, 머리 상단부분, 아가미 뚜껑, 복부 중앙, 미병부, 몸 정중앙을 따라 침착하였고, 등지느러미 및 뒷지느러미 기조 시작점, 꼬리지느러미 기조 위쪽에 침착한 점에서 같은 후기자어 시기의 압록강 개체와 흑색소포 발달에 차이를 보인 것을 확인하였다. 누치는 부화 후 150일이 경과하면서 옆줄 위로 8~12개의 반문이 뚜렷하게 관찰되었고, 참마자는 부화 후 70일(Mun *et al.*, 2020)이 경과하면서 9~10개의 반문이 관찰되어 같은 서식지에서 살고 있는 누치와 참마자는 치어기의 체측에 생기는 반문의 개수로 두 종을 구분할 수 있었다.

요 약

이 연구는 낙동강 수계 위천에 서식하는 누치의 초기생활사를 규명하고 근연종과 특징을 비교하였다. 2021년 4월 산란장 4곳에서 채집된 수정란을 대상으로 난발생과 자치어 형태 발달을 관찰하였다. 수정란은 점착성을 가진 침성란으로 난 크기는 1.93~2.39 (평균 2.22±0.15, n=30) mm였다. 수온은 22.2~24.1°C에서 부화시간은 109~115시간이 소요되었다. 부화 직후 자어 크기는 7.50~8.80 (평균 7.99±0.46) mm로 입과 항문이 발달하지 않았고 난황을 갖고 있었다. 부화 후 6일째 전기 자어는 전장 9.49~10.2 (평균 9.78±0.23, n=30) mm로 먹이를 섭취하였다. 부화 후 10일째 중기자어는 전장 9.97~11.9 (평균 10.7±0.72, n=30) mm로 척추 말단부분 미부봉상골이 휘어지기 시작하였다. 부화 후 20일째 후기자어는 전장 12.6~15.2 (평균 13.9±0.77, n=30) mm로 미부봉상골이 45°로 완전히 휘어졌다. 부화 후 29일째 치어는 전장 16.9~19.8 (평균 18.1±0.91,

n=30) mm로 등지느러미 10개, 뒷지느러미 9개, 배지느러미 7개로 지느러미 기조 수가 정수에 달하였다. 누치는 후기자어 시기 머리부분, 몸 정중앙, 지느러미 위쪽 등 흑색소포 분포 위치가 근연종들과 다르게 나타나 형태적인 특징을 구분할 수 있었다.

REFERENCES

- Baek, Y.G. 1978. On the life history of *Microphysogobio yaluensis* (Mori). Korean J. Limnol., 11: 43-49.
- Chae, B.S., H.B. Song and J.Y. Park. 2019. A field guide to the fresh water fishes of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, Korea, pp. 101-105.
- Cho, J.K., C.G. Hong, J.Y. Park, M.H. Son, C.K. Park and J.M. Park. 2015. Effects of water temperature and salinity on the egg development and larvae of sevenband grouper, *Epinephelus septemfasciatus*. Korean J. Ichthyol., 27: 21-25.
- Han, K.H., G.W. Nam, T.S. Yu and S.H. Lee. 2018. Egg and larval development of *Coreoleuciscus splendidus* from Korea. Bull. Fish. Sci. Inst. Chonnam Natl. Univ., 26: 60-63.
- 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 Natl. Univ., 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.
- Iwai, T. 1967. Structure and development of lateral line cupulae in teleost larvae. In: Cahn, P. (ed.), Lateral line detectors. IU Press, Bloomington, U.S.A., pp. 27-44.
- Iwai, T. 1972. On the free neuromasts of some teleost larvae. Jpn. J. Ichthyol., 19: 307-311.
- Ji, H.S., H.J. Yoo, J.K. Kim, D.N. Kim, S.T. Kim, J.N. Kim, H.J. Kim, S.Y. Moon, D.H. Shin, T.Y. Oh, J.T. Yoo, E.A. Yoon, S.K. Lee, H.W. Lee, H.B. Lee, Y.J. Im, J.M. Jeong, J.H. Choi and K.S. Hwang. 2020. Fish eggs, larvae and juveniles of Korea. Hangeul Graphics, Busan, Korea, 442pp.
- 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. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Vol. 37, Freshwater Fishes. Ministry of Education, Yeongi, Korea, 629pp.
- 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, 615pp.
- Kim, K.M., H.J. Jeon and H.Y. Song. 2019. Morphological develop-

- ment of egg and larvae of *Gnathopogon strigatus* (Gobioninae). Korean J. Ichthyol., 31: 131-140.
- Kim, K.M., Y.H. Kwak, S.Y. Kim and H.Y. Song. 2021. Morphological development of egg and larvae of *Squalidus japonicus coreanus* (Gobioninae). Korean J. Ichthyol., 33: 252-261.
- 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., 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., 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., 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., 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 Natl. Univ., 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.
- Lee, W.O., K.H. Kim, J.M. Back and M.Y. Song. 2013. Egg development and early life history of *Zacco koreanus*. Korean J. Ichthyol., 25: 200-207.
- 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.
- Mukai, Y. and H. Kobayashi. 1991. Morphological studies on the cupulae of free neuromasts along the growth of larvae in cyprinid fish. Nippon Suisan Gakk., 57: 1339-1346.
- 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.
- Nakajima, J. and N. Onikura. 2015. Larval and juvenile development of pike gudgeon, *Pseudogobio esocinus* (Cyprinidae: Gobioninae). Ichthyol. Res., 62: 268-273.
- Nakamura, M. 1969. Cyprinid fish of Japan. Studies on the life history of cyprinid fishes of Japan. Res. Inst. For Natural Resources. Tokyo, Japan, 455pp.
- Park, J.M. and K.H. Han. 2022a. Morphological development of eggs, larvae and juveniles of the *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae* in Yeongsangang River, Korea. Korean J. Ichthyol., 34: 16-24.
- Park, J.M. and K.H. Han. 2022b. Development of eggs, larvae and juveniles of the *Squalidus gracilis majimae* from wicheon stream, Nakdong-River. Korean J. Ichthyol., 34: 244-252.
- Park, J.M., D.J. Yoo, S.J. Cho and K.H. Han. 2021. Morphological development of eggs, larvae and juveniles of the *Abbottina springeri*. Korean J. Ichthyol., 33: 167-176.
- Park, J.M., S.J. Cho, H.I. Jo and K.H. Han. 2019. Morphological development of egg, larvae and juvenile in Korean shinner, *Coreoleuciscus splendidus* from the Uncheon-Stream of Korea. Dev. Reprod., 23: 161-170.
- Park, K.S., Y.P. Hong, U.K. Moon, S.S. Choi and K.K. An. 2005. The egg development of Korean slender gudgeon, *Squalidus gracilis majimae* (Cypriniformes: Cyprinidae). Korean J. Limnol., 38: 73-82.
- 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.
- Sado, T. and S. Kimura. 2002. Descriptive morphology of the eggs, larvae, and juveniles of two cyprinid fishes belonging to the *Zacco temminckii* species' group. Ichthyol. Res., 49: 245-252.
- Song, H.B. and S.S. Choi. 2000. Reproductive ecology and early life history of paradise fish, *Macropodus chinensis* (Pisces; Belontiidae) in Aquarium. Korean J. Limnol., 33: 282-294.
- 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., M.H. Ko, I.Y. Seo, S.J. Moon and I.C. Bang. 2017. Morphological development of egg and larvae of *Squalidus multimaculatus* (Gobioninae). Korean J. Ichthyol., 29: 52-61.
- 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.
- Uchida, K. 1939. The fishes of Tyosen. Part I. Numatognathi, Eventognathi. Bull. Fish Exp. Sta. Gov. Gener. Tyosen, pp. 182-191.
- Yang, P.M., X.N. Luo, G.H. Jin, Y.X. Liu, J.W. Li and J. Li. 2014. Morphological development and early growth on larvae and juveniles of *Hemibarbus labeo* in Yalu River. Acta. Hydrobiol. Sin., 38: 1-9.
- Yoon, S.J., D.H. Kim, H.G. Hwang, G.C. Song and Y.C. Kim. 2007. Effects of water temperature, stocking density and feeding frequency on survival and growth in the oblong rockfish *Sebastes oblongus* larvae. Korean J. Ichthyol., 19: 1-7.