

홍천강에 서식하는 멸종위기종 새미 *Ladislavia taczanowskii*의 난발생 및 자치어 형태발달

박재민 · 조성장¹ · 한경호^{2,*}

경상북도 토속어류산업화센터, ¹보령민물생태관, ²전남대학교 수산과학과

Development of Eggs, Larvae and Juveniles of the *Ladislavia taczanowskii* from Hongcheongang-River by Jae-Min Park, 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 conducted to investigate the early life history by observing the egg development of *Ladislavia taczanowskii* in endangered fish and to use it as basic data for species conservation research. The broodstork used in the study was secured from the area of the Hongcheon River in Hongcheon-gun, Gangwon State. The broodstork, who was being raised in the laboratory, selected mature individuals in May 2021 and induced them to spawn by hormone injection. The size of the maturation egg was 1.50~1.79 (average 1.59 ± 0.08 , $n=30$) mm due to the circular invasive egg. The incubation time took 168 hours at 16.5°C and 109 hours and 30 minutes at 25.5°C. Newly hatched larvae, the consonants had a total length of 5.55~6.31 mm (6.30 ± 6.93 , $n=30$) mm, and the mouth and anus did not open and had egg yolk. 5 days after hatching, the preflexion larvae had a total length of 9.91~10.8 (10.1 ± 0.27 , $n=30$) mm, and the mouth and anus opened, and feeding activities began. 8 days after hatching, the flexion larvae had a total length of 10.3~11.4 (10.8 ± 0.38 , $n=30$) mm, and the end of the vertebrae at the tail fin tip began to bend upward. 10 day after hatching, the postflexion larvae had a total length of 11.8~13.1 (12.3 ± 0.43 , $n=30$) mm, and the end of the vertebrae at the tail tip was completely bent at 45°. 18 days after hatching, the total length of the juveniles was 18.9~23.4 (20.4 ± 1.69 , $n=30$) mm, and the number of fins in each part was fin rays with 10 dorsal fins, 9 anal fins, 22 caudal fins, and 7 ventral fins. As a result of the study, the postflexion larvae showed differences in morphology from other Gobioninae fishes in the upper part of the tail's hypural, the shape of spots on the dorsal vertebrae, the vertical stripes developed on the head, and the irregularly deposited melanophore throughout the body.

Key words: Gobioninae, *Ladislavia taczanowskii*, egg, larvae, juvenile

서 론

멸종위기에 처한 종의 보호와 자원 유지를 위해서는 기초적인 생물학적 연구, 인위적인 증식 및 복원을 위한 기초자료 확보가 시급한 실정이며, 특히 어류의 난발생 및 초기생활사에 대한 연

구는 종의 생물학적 특성에 대한 정보를 바탕으로 대상 종의 인공종자 생산 등 복원을 위한 연구에 다각도로 활용할 수 있기 때문에 중요하다(Hong *et al.*, 2015). 새미 *Ladislavia taczanowskii*는 잉어목(Cypriniformes) 잉어과(Cyprinidae) 모래무지아과(Gobioninae) 새미속(*Ladislavia*)에 속하는 저서성 소형 어류로 1869년 Dybowski가 러시아 아무르강 유역인 Transbaikalien에서 채집된 표본을 신종 기재하였다(Dybowski, 1869; Choi *et al.*, 2022). 분포지역은 북한의 압록강에서 우리나라의 한강까지

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

서해로 흐르는 하천과 삼척오십천에도 분포하며, 국외에는 중국의 헤이룽강, 러시아의 아무르강에 분포하는 것으로 알려져 있다 (Kim *et al.*, 2005; Kim and Park, 2007; Chae *et al.*, 2019). 새미는 냉수성 어류로 서식지가 매우 제한적이고 기후변화로 기온과 수온이 상승하면서 서식지는 축소되고 있으며, 무분별한 하천 개발과 수질오염으로 서식지 파괴와 개체수가 감소되고 있어 2022년 멸종위기 야생생물 II급으로 지정되어 법적 보호를 받고 있다(NIBR, 2019; Byeon, 2020; Choi *et al.*, 2022; NIE, 2023). 새미와 같은 모래무지아과 어류의 초기생활사 연구로는 참봉어 *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 *Hemibarbus mylodon* (Ko *et al.*, 2017), 점물개 *Squalidus multimaculatus* (Song *et al.*, 2017), 줄물개 *Gnathopogon strigatus* (Kim *et al.*, 2019), 참마자 *H. longirostris* (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 연구되었고, 새미에 대한 연구는 산란행동 (Youn, 2011), 개체군 생태 (Byeon, 2020), 기생충 관련 연구 (Cho *et al.*, 2014) 외에 초기생활사에 대한 연구는 진행되지 않았다. 어류의 난발생과 초기생활사 연구는 친어확보, 산란유도 및 채란, 자어의 초기사육 등의 어려움으로 국내 담수 어류의 난발생과 초기생활사 연구는 부족한 실정이다 (Lee *et al.*, 2013). 멸종위기 어류에 대한 인공증식 및 복원 연구의 일환으로 초기생활사에 대한 연구가 진행되어 종복원을 위한 기초자료로 제공하고 있다 (ME, 2006-2012, 2009; MLTM, 2010, 2011; Kim *et al.*, 2012). 따라서 본 연구에서는 멸종위기종 새미의 난발생 및 자치어 형태발달을 관찰하여 초기생활사를 구명하고, 근연종인 모래무지아과 어류와 비교함으로써 생물학적 특성 규명과 종복원 및 인공증식을 위한 기초자료를 확보하고자 한다.

재료 및 방법

1. 어미확보

본 연구에 사용된 새미는 멸종위기 야생생물 II급으로 지정되기 이전인 2020년 10월 강원특별자치도 홍천군 홍천강 일원

에서 확보하였고, 개체군 보호를 위한 정확한 위치는 생략하였다. 포획 방법은 족대(망목 4×4 mm)를 이용하였고, 포획 후 산소 비닐 포장하여 연구실로 운반하였다. 어미 사육은 연구실 내 PVC 재질의 사각수조(1.5×1.0×0.80 m)에서 유수식으로 사육하였고, 먹이는 2회/일 냉동장구벌레와 실지렁이를 공급하였다.

2. 채란 및 수정

연구실 내 수조에서 사육 중인 어미는 2021년 5월 수온 16.2~16.8°C (평균 16.5°C) 일 때 암컷은 복부가 부르고 생식공이 돌출된 개체를 선별하였고, 수컷은 추성이 발달하고 복부 압박 시 생식공에서 정액이 육안으로 확인되는 개체를 선별한 후 호르몬 Ovaprim (Syndel, Canada)를 kg당 0.5 mL 기준으로 등근육에 주사하였다. 호르몬 주사 12시간 경과 후 암컷은 멸균생리식염수(NaCl, 0.9%)가 담긴 패트리디쉬(지름 15 cm)에 복부를 압박해 채란하였고, 수컷은 같은 방법으로 채정하여 수정 후 깨끗한 물로 4~5회 세란하였다.

3. 난발생 및 자치어 형태발달

수정란은 부화하기 전까지 시중에 판매되고 있는 부화기 (Ziss-tumbler, ZissAQUA, Osan, Korea)를 이용해 사육 관리하였고, 난발생 관찰은 수정란 30개를 선택하여 실험현미경 (JP SMZ800, Nikon, Tokyo, Japan)으로 관찰 후 크기는 0.01 mm 까지 측정하였다. 난발생 과정 중 수온은 24.9~26.2°C (평균 25.5°C)였다. 자치어 사육은 부화 직후부터 난황 흡수 완료 시까지 부화기에서 사육하였고, 난황 흡수 완료 후부터는 유리 사각수조(30×30×30 cm)에서 사육하였다. 먹이는 알테미아 부화유생 (*Artemia* sp. nauplius)를 mL당 2~3개체 정도 매일 2회 공급하였고, 이후 성장함에 따라 초기 배합사료 (Lovelarva, Japan)을 공급하였다. 자치어 형태발달 관찰은 1~5일 간격으로 마취제 MS-222 (Ethyl 3-aminobenzoate methanesulfonate, Sigma Aldrich Co., St. Louis, USA)로 마취해 실험현미경을 이용하여 관찰 후 스케치하였고, 크기는 0.01 mm까지 측정하였다. 자치어 형태 구분은 Ji *et al.* (2020)에 따랐다.

결 과

1. 성숙개체 크기 및 난 특징

2021년 5월 15일 사육 중 성숙한 새미 암컷은 전장 10.5~11.8 (평균 11.0±0.44, n=5) cm, 체중 9.8~18.0 (평균 13.0±3.64) g, 수컷은 전장 10.8~13.4 (12.5±0.91) cm, 체중 12.5~24.9 (평균 22.0±4.80) g이었다. 성숙란의 크기는 1.50~1.79 (1.59±0.08, n=30) mm였다. 난 형태는 구형으로 표면에는 점착성을 가졌고, 물에 가라앉는 성질을 띤 침성란이었다.

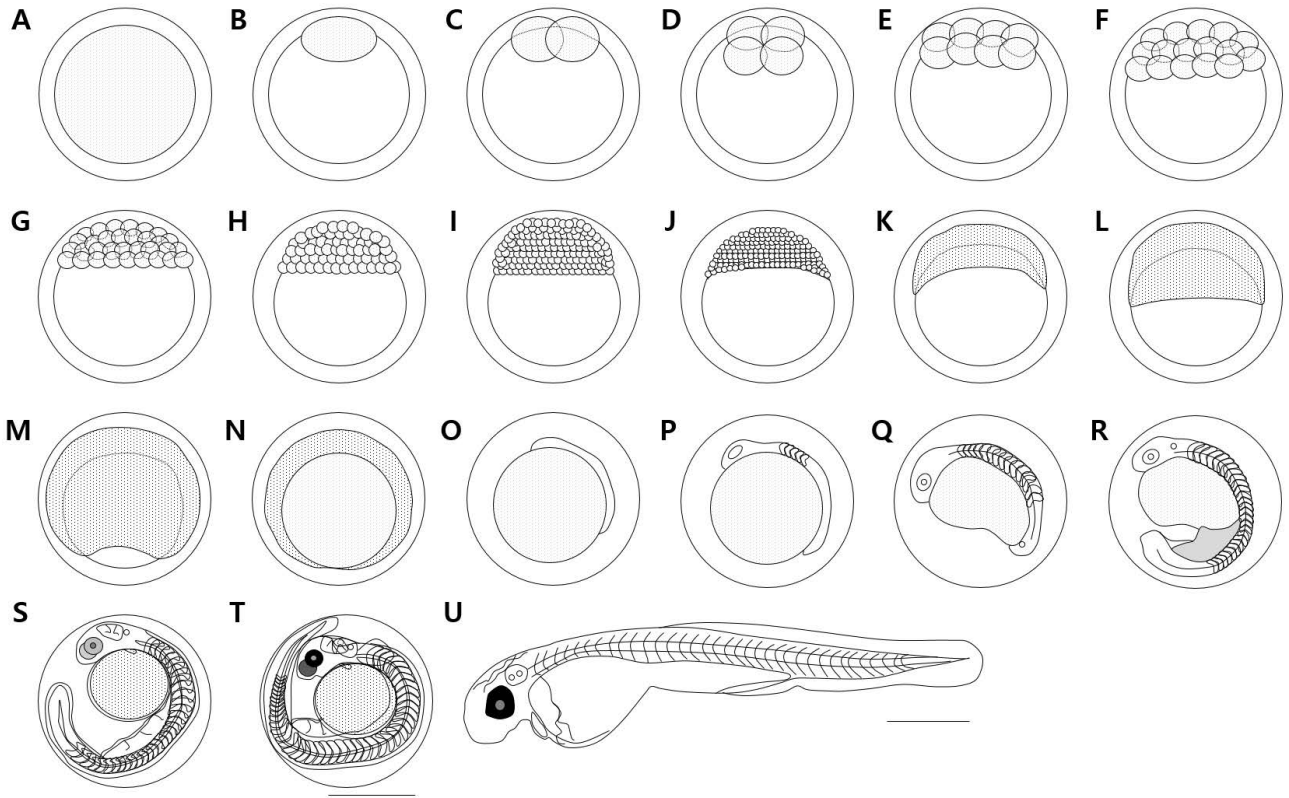


Fig. 1. Egg development stages of *Ladislavia taczanowskii*. A: fertilized egg; B: blastodisc; C: 2 cells; D: 4 cells; E: 8 cells; F: 16 cells; G: 32 cells; H: 64 cells; I: morula stage; J: blastula stage; K: early gastrula stage; L: middle gastrula stage; M: late gastrula stage; N: closure of circle; O: formation of embryo; P: 5~7myotomes; Q: appearance Kuffer's vesicle; R: development of optic vesicle; S: embryo in long tail; T: melanophore in eyes; U: hatching start. Scale bars = 1.00 mm.

2. 난발생 과정

새미의 난은 수정 30분 후에 물을 흡수하였고(Fig. 1A), 수정란 크기는 $1.89\sim 2.20$ (2.03 ± 0.09 , $n = 30$) mm였으며, 수정 후 1시간에는 동물극 쪽에 배반이 형성되었다(Fig. 1B). 수정 후 1시간 30분에는 배반에 난황이 일어나면서 2세포기에 달하였다(Fig. 1C). 수정 후 2시간에는 4세포기에 달하였고(Fig. 1D), 수정 후 2시간 30분에는 8세포기에 달하였으며(Fig. 1E), 수정 후 3시간에는 16세포기에 달하였다(Fig. 1F). 수정 후 4시간에는 32세포기에 달하였고(Fig. 1G), 수정 후 5시간에는 64세포기에 달하였다(Fig. 1H). 수정 후 7시간에는 상질기에 달하였고(Fig. 1I), 수정 후 8시간에는 포배기에 달하였다(Fig. 1J). 수정 후 9시간 30분에는 식물극 쪽으로 덮어 내려오면서 초기 낭배기가 시작되었고(Fig. 1K), 수정 후 12시간 30분에는 중기 낭배기에 달하였으며(Fig. 1L), 수정 후 18시간 30분에는 말기 낭배기에 달하였다(Fig. 1M). 수정 후 24시간에는 원구가 폐쇄되었고(Fig. 1N), 수정 후 31시간에는 배체가 형성되었다(Fig. 1O). 수정 후 33시간 30분에는 눈에 안포가 형성되었고, 5~7개의 근절이 형성되었다(Fig. 1P). 수정 후 36시간 30분에는 꼬리 쪽에 Kuffer's

vesicle이 형성되었고, 근절 수는 12~15개로 증가하였다(Fig. 1Q). 수정 후 38시간 30분에는 Kuffer's vesicle이 소실되었고, 머리에는 이포가 발달하였으며, 꼬리가 발달하면서 난황과 분리되었다(Fig. 1R). 수정 후 54시간에는 눈에 흑색소포가 침착하기 시작하였고, 꼬리는 난황의 절반까지 길어졌으며, 막지느러미가 발달하였다. 이 시기에는 근절 수가 20~25개로 증가하였다(Fig. 1S). 수정 후 81시간에는 눈에 침착된 흑색소포가 더욱 짙어졌고, 막으로 된 가슴지느러미가 발달하였으며, 근절 수는 30~35개로 증가하였다(Fig. 1T). 수정 후 109시간 30분에는 꼬리가 먼저 난막을 뚫고 나오면서 부화가 시작되었고(Fig. 1U), 수정 후 113시간 30분에는 전체 수정란의 50%가 부화하였으며, 수정 후 117시간 30분에는 부화가 완료되었다.

3. 자치어 형태발달

1) 난황자치어(Yolk sac larva)

부화 직후 난황자치어는 전장 $5.55\sim 6.31$ (평균 6.30 ± 6.93 , $n = 30$) mm로 입은 발달하지 않았고, 항문은 일부 발달하였으나 완전히 열리지 않았으며, 막지느러미는 등 쪽 중앙부에서 시작되

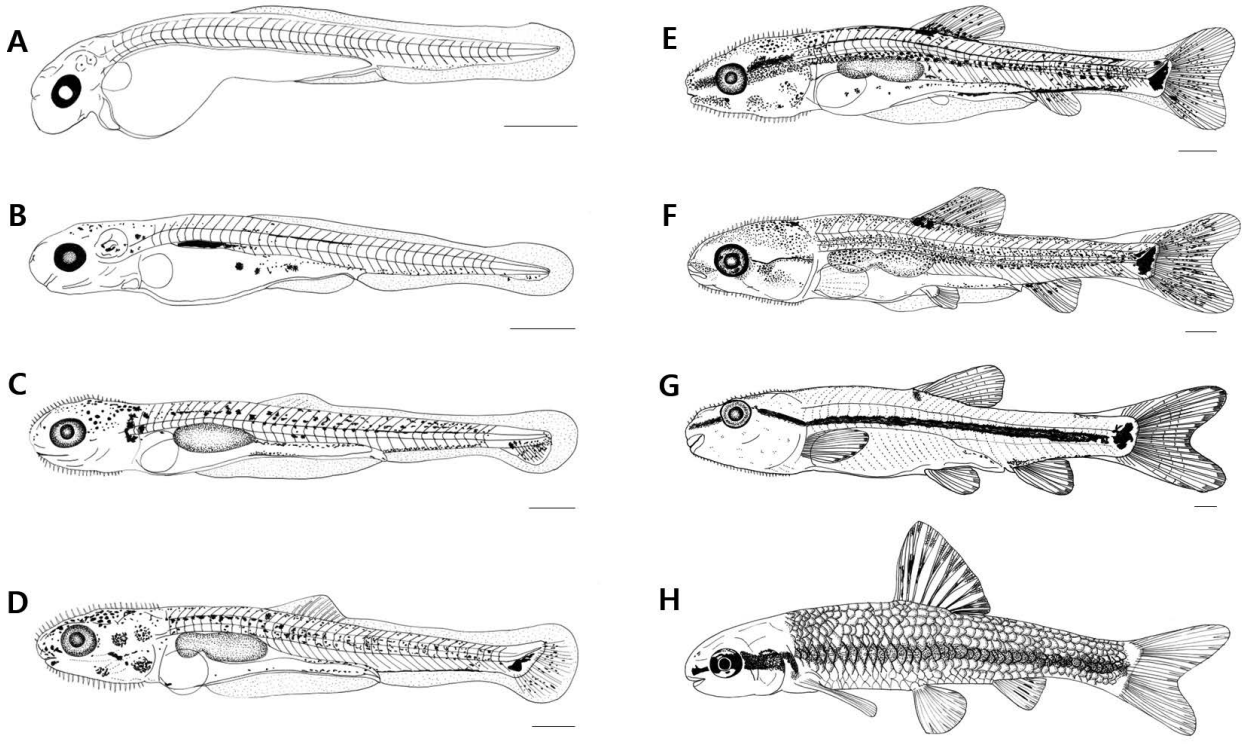


Fig. 2. Larvae and Juveniles development of *Ladislavia taczanowskii*. A: newly hatched larvae, 6.30 ± 6.93 mm in total length (TL); B: 3 days after hatching (DAH), 7.17 ± 0.23 mm in TL; C: 5 DAH, 10.1 ± 0.27 mm in TL; D: 8 DAH, 10.8 ± 0.38 mm in TL; E: 10 DAH, 12.3 mm in TL; F: 14 DAH, 15.1 ± 0.52 mm in TL; G: 18 DAH, 20.4 ± 1.69 mm in TL; H: 60 DAH, 45.9 ± 3.66 mm in TL. Scale bars = 1.00 mm.

어 꼬리와 항문을 지나 난황 부근까지 이어져 있었다. 머리 양쪽에는 막으로 된 가슴지느러미 1쌍이 있었다. 흑색소포는 항문 부근의 난황 위쪽과 미병부에 침착하였다. 자어의 움직임은 조금씩 관찰되었고 시간이 경과함에 따라 빠른 움직임을 나타냈다. 근절수는 34~37개(22~23 + 12~14)였다(Fig. 2A).

부화 후 3일째 난황자어는 전장 $6.94 \sim 7.52$ (평균 7.17 ± 0.23 , $n = 30$) mm로 입을 완전히 열리지 않았고, 난황을 갖고 있었다. 꼬리지느러미는 부채꼴로 분화하기 시작하였고, 막으로 된 가슴지느러미는 더욱 커졌다. 흑색소포는 머리 상단 부분, 등 쪽, 난황 위쪽, 꼬리 끝부분에 새롭게 침착하였다. 이 시기에는 머리 위쪽과 아래턱에 작은 돌기가 여러 개 발달하였다(Fig. 2B).

2) 전기자어기(Preflexion larva)

부화 후 5일째 전기자어는 전장 $9.91 \sim 10.8$ (평균 10.1 ± 0.27 , $n = 30$) mm로 난황이 완전히 흡수되면서 입과 항문이 완전히 열렸고, 섭취 활동이 시작되면서 전기자어기로 이행하였다. 등지느러미는 발달하여 3~6개의 기조가 발달하였고, 꼬리지느러미에는 10개의 기조가 발달하였다. 머리 상단부분에 침착된 흑색소포는 원형으로 등 쪽에는 나뭇가지 모양, 난황 위쪽에는 별 모양으로 발달하였다. 소화관 위쪽에는 1개의 부레가 발달하였고 중층에서 유영하기 시작하였다(Fig. 2C).

3) 중기자어기(Flexion larva)

부화 후 8일째 중기자어는 전장 $10.3 \sim 11.4$ (평균 10.8 ± 0.38 , $n = 30$) mm로 꼬리지느러미 끝의 척추말단 부분이 위쪽으로 휘어지기 시작하면서 중기자어기로 이행하였다. 머리 위쪽과 아래턱에 발달한 돌기는 더욱 증가하였고, 기조 수는 등지느러미가 7개로 증가하였다. 꼬리지느러미는 19개(10 + 9)로 증가하였으며, 뒷지느러미는 분화하기 시작하였다. 꼬리 끝부분 아래쪽에는 1개의 큰 반점 모양 흑색소포가 발달하였고, 꼬리지느러미 기조 윗부분에는 흑색소포가 침착하였다. 아가미 뚜껑 위쪽과 주둥이 끝부분에는 흑색소포가 새롭게 침착하였고, 소화관 위쪽에 발달한 부레는 두 갈래로 나누어졌다(Fig. 2D).

4) 후기자어기(Postflexion larva)

부화 후 10일째 후기자어는 전장 $11.8 \sim 13.1$ (평균 12.3 ± 0.43 , $n = 30$) mm로 꼬리 끝의 척추말단 부분이 45° 로 완전히 휘어지면서 후기자어기로 이행하였다. 각 지느러미 부위별 기조 수는 등지느러미 9개로 증가하였고, 막으로 연결되었던 꼬리지느러미와 분리되었다. 뒷지느러미에는 6개가 발달하였고, 꼬리지느러미는 22개(11 + 11)로 증가하였으며, 상엽과 하엽은 두 갈래로 나누어져 발달하였다. 꼬리 끝의 반점 모양 흑색소포는 범위가 더욱 넓어져 미골부 전체로 발달하였고, 등지느러미 기조 시

작점에서 세 번째 기조까지 반점 모양으로 흑색소포가 발달하였다. 복부에는 배지느러미가 분화하기 시작하였고, 뒷지느러미 기조 위쪽에도 흑색소포가 침착하였다(Fig. 2E).

부화 후 14일째 후기자어는 전장 14.5~16.1 (평균 15.1±0.52, n=30) mm로 머리 위쪽과 아래턱에 발달한 돌기는 길이가 짧아졌고, 각 부위별 지느러미 기조 수는 뒷지느러미 8개로 증가하였고, 배지느러미에는 5개의 기조가 발달하였다. 뒷지느러미는 막으로 연결되어 있던 꼬리지느러미와 완전히 분리되었고, 항문을 기점으로 배지느러미와도 분리되었다. 흑색소포는 몸 정중앙을 따라 아가미 뒤쪽부터 꼬리까지 반점이 불규칙적으로 이어져 발달하였다(Fig. 2F).

5) 치어기(Juvenile)

부화 후 18일째 치어는 전장 18.9~23.4 (평균 20.4±1.69, n=30) mm로 각 부위별 지느러미 기조 수는 등지느러미 10개, 뒷지느러미 9개, 꼬리지느러미 22개, 배지느러미 7개로 정수에 달하면서 치어기로 이행하였다. 배지느러미에 있던 막지느러미는 완전히 사라졌고, 등지느러미와 꼬리에 발달하였던 반점 모양의 흑색소포 크기는 줄어들었다. 주둥이 끝에서 아가미를 지나 몸 정중앙을 따라 불규칙적인 반점으로 이어진 흑색소포는 연결되어 1줄의 가로띠로 발달하였다. 이 시기에는 머리 위쪽과 아래턱의 돌기가 남아있었고, 반점 모양의 흑색소포는 등지느러미 부근에서 대부분 소실되었으며, 꼬리 쪽은 몸 정중앙의 가로띠와 연결되었다(Fig. 2G).

부화 후 60일째 치어는 전장 42.6~50.7 (평균 45.9±3.66, n=30) mm로 머리 위쪽과 아래턱에 발달하였던 돌기는 완전히 사라졌고, 몸 전체에는 비늘이 발달하였다. 등지느러미, 뒷지느러미 기조 중반부에는 흑색소포가 침착하였고, 가슴지느러미, 꼬리지느러미 기조 위에도 흑색소포가 침착하였으며, 배지느러미에는 흑색소포가 침착하지 않았다. 몸 측면으로는 옆줄이 발달하였고, 옆줄을 따라 가로 줄무늬 띠가 선명하게 나타났다. 입 끝은 둥글고, 위턱보다 아래턱의 길이가 짧았다(Fig. 2H).

고 찰

본 연구에서는 새미의 종 보존 및 복원을 위한 기초자료로서 난발생 및 초기생활사 특징을 모래무지아과의 근연종들과 비교하였다(Table 1).

사육수조 내에서 새미의 산란행동과 성숙한 어미로부터 정액과 성숙란 일부가 확인된 것은 5월 초에서 중순 사이로 사육수 수온은 16.2~16.8°C였다. 산란행동은 수컷이 자신의 영역 세력권을 형성하고 주변에 다가오는 개체를 대상으로 텃세 행동을 보였다. 산란장소에서는 암컷이 수컷과 산란행동을 하였고, 이후 수컷은 몸을 수직으로 세워 꼬리로 모래를 파묻는 듯한 행동을

을 보였다. 산란행동은 Youn (2011)의 연구 결과와 동일하였고, 산란은 6~7월 수온 16~20°C로 본 연구의 산란행동 관찰 수온과 유사하였다. 최근 발간된 도감(Chae *et al.*, 2019)에서도 새미의 산란시기는 6월로 알려져 있으나 본 연구에서 5월로 확인된 것은 수온의 영향으로 판단되며, 추후 정확한 새미의 산란생태 규명을 위해서는 자연산란장에서 면밀한 연구가 필요할 것으로 보인다. 멸종위기어류의 증식 및 복원을 위해 양질의 수정란을 확보하는 것은 중요하며(Hong *et al.*, 2015), 국내의 경우 일부 멸종위기어류를 대상으로 인위적인 산란유도를 위한 호르몬의 종류 및 농도별 산란유도 효과를 연구한 바 있다(Lee, 2009; MLTM, 2010; ME, 2011).

본 연구에서는 Ovaprim 호르몬을 어체중 kg당 0.5 mL 농도로 산란유도 실험하였고 그 결과 인공채란과 자연산란 유도까지 원활하게 이루어지는 것을 확인하였다. 그러나 양질의 난을 확보하기 위해서는 암컷의 성숙상태가 많은 영향을 미치는 것으로 보여 산란유도 시 복부가 팽만하고 생식공이 붉은 암컷을 선택하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

새미의 성숙란은 원형으로 약간의 점착성을 가진 침성란이다. 새미는 바닥의 모래나 자갈에 산란하지만(Youn, 2011), 모래무지아과의 근연종인 참중고기, 중고기는 담수산 이매패류에 산란하고(Kang *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2014; Yoon, 2016), 돌고기, 감돌고기는 바위나 돌 아래에 부착하여 산란하며(Lee *et al.*, 2002, 2004), 참붕어는 작은 돌이나 수초에 부착시켜 산란하여(Han *et al.*, 2001), 새미와 달리 어종별로 다양한 산란 습성에서 차이를 보였다.

새미의 성숙란 크기는 평균 1.59±0.08 mm로 오대천 개체(Youn, 2011)는 1.5 mm로 크기가 유사하였고, 근연종인 모래무지아과 어류와 비교한 결과 참중고기 2.40±0.05mm (Park and Han, 2022a), 중고기 *S. nigripinnis morii* 2.3 mm (Kang *et al.*, 2007), 감돌고기 2.18 mm (Lee *et al.*, 2004), 가는돌고기 1.96±0.08 mm (Ko *et al.*, 2012), 쉬리 1.91±0.14 mm (Park *et al.*, 2019)로 긴물개, 점물개, 왜매치, 돌마자, 모래주사, 여울마자, 배가사리, 꾸구리, 흰수마자 새미보다 평균 난 크기가 작았고, 참붕어, 가는돌고기, 쉬리, 물개, 돌상어는 평균 난 크기가 유사하였으며, 참중고기, 중고기, 돌고기, 감돌고기, 누치, 참마자, 어름치, 모래무지는 새미보다 평균 난 크기가 컸다(Table 1).

수온은 어종에 따라 생활사와 생태적 특성에 따른 적정 수온 범위를 가지고, 초기발생에 있어서도 난발생 및 자치어의 성장과 생존에 중요한 영향을 미치는 중요한 요인 중 하나이다(Youn *et al.*, 2007; Cho *et al.*, 2015). 부화에 소요되는 시간은 새미 수온 16.5°C 168시간, 수온 25.5°C 109시간 30분이 소요되었다. 수온별 근연종들의 부화 시간을 비교한 결과 수온 15~20°C 범위에서는 참붕어 183시간(Han *et al.*, 2001), 돌고기 186시간(Lee *et al.*, 2002), 감돌고기 189시간(Lee *et al.*, 2004), 모래무지 164시간(Lee *et al.*, 2008), 참마자 175시간(Mun *et al.*, 2020), 어름

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

Species	Egg diameter (mm, mean ± SD)	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>Ladislavia taczanowskii</i>	1.59 ± 0.08	109 h 30 min (25.5°C)	6.30 ± 6.93	10 days (12.3 ± 0.43)	18 days (20.4 ± 1.69)	Present study
<i>Pseudorasbora parva</i>	1.86	183 h (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	186 h (19°C)	6.0	32 days (12.4)	45 days (14.6)	Lee <i>et al.</i> , 2002
<i>Pseudopungtungia nigra</i>	2.18	189 h (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	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>Coreoleuciscus splendidus</i>	1.91 ± 0.14	172 h (19°C)	5.95 ± 0.96	10 days (8.54 ± 0.14)	88 days (25.9 ± 0.35)	Park <i>et al.</i> , 2019
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>	3.11 ± 0.05	230~240 h (22°C)	10.7 ± 0.19	3 days (12.0 ± 0.13)	11 days (14.6 ± 0.13)	Park and Han, 2022a
<i>S. nigripinnis morii</i>	2.3	—	9.60	—	—	Kang <i>et al.</i> , 2007
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	0.91 ± 0.04	62 h 30 min (22°C)	2.44 ± 0.04	18 days (8.95 ± 0.42)	22 days (13.0 ± 0.36)	Park and Han, 2022b
<i>S. japonicus coreanus</i>	1.12 ± 0.03	46~49 hrs (23°C)	4.1 ± 0.2	24 days (7.6 ± 0.5)	44 days (15.5 ± 1.0)	Kim <i>et al.</i> , 2021
<i>S. multimaculatus</i>	0.8 ± 0.03	65~77 hrs (25°C)	2.8	17 days (6.8)	30 days (13.3)	Song <i>et al.</i> , 2017
<i>Hemibarbus labeo</i>	2.55	195 h (12.5~18.5°C)	6.62	—	—	He <i>et al.</i> , 1999
<i>H. longirostris</i>	2.01 ± 0.18	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. mylodon</i>	2.21 ± 0.06	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>Pseudogobio exocinus</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>Abbottina springeri</i>	1.08 ± 0.02	72 h (21~23°C)	2.16 ± 0.04	3 days (12.0 ± 0.13)	11 days (14.6 ± 0.13)	Park <i>et al.</i> , 2021

Table 1. Continued

Species	Egg diameter (mm, mean ± SD)	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>Macrophysogobio koreensis</i>	1.0 ± 0.04	29 h (23°C)	2.2 ± 0.48	20 days (6.5 ± 0.77)	40 days (10.0 ± 0.88)	Kim et al., 2012
<i>M. yaluensis</i>	0.5	20 h (22~25°C)	0.7	-	-	Baek, 1978
<i>M. rapidus</i>	0.63 ± 0.02	72 h (20~22°C)	2.79 ± 0.04	24 days (7.90 ± 0.32)	30 days (9.74 ± 0.24)	Hong et al., 2015
<i>M. longidorsalis</i>	1.03 ± 0.07	-	-	-	-	Song and Son, 2003
<i>Gobiobotia macrocephala</i>	0.89 ± 0.04	107 h (23°C)	4.6 ± 0.16	10 days (7.7 ± 0.58)	15 days (8.6 ± 0.67)	Ko et al., 2011b
<i>G. brevibarba</i>	1.24 ± 0.07	120 h (23°C)	5.5 ± 0.29	15 days (9.9 ± 0.72)	20 days (11.3 ± 0.71)	Ko et al., 2011a
<i>G. naktongensis</i>	0.74 ± 0.08	26 h (23°C)	3.4 ± 0.07	13 days (7.6 ± 0.48)	20 days (12.0 ± 0.76)	Ko et al., 2013

*NHL : newly hatched larvae, WT : water temperature.

치 72시간(Ko et al., 2017), 쉬리 172시간(Park et al., 2019)이 소요되었고, 21~25°C 범위에서는 참중고기 230~240시간(Park and Han, 2022a), 가는돌고기 240시간(Ko et al., 2012), 왜매치 72시간(Park et al., 2021), 여울마자 72시간(Hong et al., 2015), 모래주사 29시간(Kim et al., 2012), 돌마자 20시간(Baek, 1978), 꾸구리 107시간(Ko et al., 2011b), 돌상어 120시간(Ko et al., 2011a), 흰수마자 26시간(Ko et al., 2013)이 소요되었다. 수온 15~20°C 범위에서는 어름치를 제외하고 100시간 이상 부화 시간이 소요되었으며, 수온 21~25°C 범위에서는 왜매치, 여울마자, 모래주사, 돌마자, 흰수마자를 제외하고 100시간 이상 부화 시간이 소요되어 차이를 보였다. 새미는 다른 수온 조건에서도 100시간 이상의 부화 시간이 소요되었고, 수온이 높은 경우 부화 시간이 짧아지는 경향을 보였으며, 이처럼 부화 시간의 차이는 수온에 따른 영향을 가장 크게 받는 것으로 보인다. 최근 지구의 기온이 상승함에 따라 하천 수온도 상승하고 있어(Hari et al., 2006; Kaushal et al., 2010), 냉수성 어류인 새미는 하천의 수온이 상승함에 따라 서식지가 감소하여 과거보다 출현지역이 줄어들 것으로 예상되고 있다(Kim and Park, 2007; Chung et al., 2011). 또 새미와 같은 하천 상류 지역에 서식하는 미유기의 경우 고수온에 부화율이 낮아지는 경향을 보여 고수온에 취약하고 기후변화에 따른 수온 상승에 민감한 반응이 있을 것으로 보고 있다(Kim et al., 2023). 새미는 수온 16°C, 25°C에서 부화가 정상적으로 이루어졌으나 이들의 서식지가 하천 상류 지역에 제한적으로 분포한다는 점에서 새미는 미유기와 마찬가지로 수온 상승에 민감한 종으로 보인다.

성숙란의 크기 차이는 부화 직후 자어의 크기와 밀접한 연관이 있으며, 초기먹이를 결정하는 중요한 기준이 된다(Ko et al., 2011b). 새미의 부화 직후 자어 크기는 6.30 mm로 근연종인 참중고기 10.7 mm (Park and Han, 2022a), 중고기 9.60 mm (Kang et al., 2007), 참붕어 5.16 mm (Han et al., 2001), 돌고기 6.00 mm (Lee et al., 2002), 감돌고기 5.82 mm (Lee et al., 2004), 가는돌고기 8.60 mm (Ko et al., 2012), 쉬리 5.95 mm (Park et al., 2019), 긴물개 2.44 mm (Park and Han, 2022b), 물개 3.7 mm (Kim et al., 2021), 점물개 2.8 mm (Song et al., 2017), 왜매치 2.16 mm (Park et al., 2021), 돌마자 0.70 mm (Baek, 1978), 여울마자 2.79 mm (Hong et al., 2015), 모래주사 2.20 mm (Kim et al., 2012), 모래무지 4.61 mm (Lee et al., 2008), 꾸구리 4.60 mm (Ko et al., 2011b), 돌상어 5.50 mm (Ko et al., 2011a), 흰수마자 3.40 mm (Ko et al., 2013), 누치 7.92 mm (He et al., 1999), 참마자 8.10 mm (Mun et al., 2020), 어름치 6.60 mm (Ko et al., 2017)로 참중고기, 중고기, 가는돌고기, 누치, 참마자보다 크기가 작았고, 돌고기, 감돌고기, 쉬리, 돌상어, 어름치와 크기가 유사하였으며, 참붕어, 긴물개, 물개, 점물개, 왜매치, 돌마자, 여울마자, 모래주사, 모래무지, 꾸구리, 흰수마자보다 크기가 컸다. 비교한 근연종들의 성숙란 크기와 부화 직후 크기를 대비하였을 때 성

숙란의 크기가 클수록 부화 자어의 크기가 큰 경향을 보였다.

새미의 후기자어 시기는 부화 후 10일째 평균 전장 12.3 mm로 형태적 특징은 몸 전체 막지느러미는 연결되어 있었고, 배지느러미는 분화하기 시작하였다. 몸 전체에는 불규칙적인 모양의 흑색소포가 전반적으로 침착하였으며, 꼬리 끝 하미촉골 위쪽 부분과 등지느러미 아래쪽 검은색 반점이 침착되어 있었다. 근연종들의 형태적 특징으로는 참중고기(Park and Han, 2022a) 부화 후 7일째 평균 전장 12.6 mm로 등지느러미와 꼬리지느러미의 연결되었던 막은 분리되었고, 흑색소포는 부레 끝부분에서 꼬리까지 몸 중앙을 따라 연결되었으며, 꼬리 끝 하미촉골 위쪽 부분에 검은색 반점이 침착되었다. 쉬리(Park *et al.*, 2019)는 부화 후 10일째 평균 전장 8.54 mm로 몸 전체에 반점 모양의 흑색소포가 산재하였고, 모든 지느러미는 막으로 연결되어 있었다. 긴물개(Park and Han, 2022b)는 부화 후 18일째 8.95 mm로 모든 지느러미는 막으로 연결되어 있었고, 배지느러미는 분화하지 않았으며, 불규칙적인 형태의 흑색소포는 몸 전체와 꼬리 끝 하미촉골 위쪽에 검은색 반점 모양으로 침착되어 있었다. 돌고기(Lee *et al.*, 2002)는 부화 후 17일째 평균 전장 8.0 mm로 모든 지느러미는 막으로 연결되었고, 흑색소포는 머리 위쪽과 등 쪽, 소화관에 침착되었으며, 몸 정중앙에는 세로 형태의 줄무늬가 이어져 있었다. 어름치(Ko *et al.*, 2017)는 부화 후 14일 평균 전장 13.5 mm로 등지느러미와 꼬리지느러미의 연결되었던 막은 분리되었고, 흑색소포는 머리 위쪽, 복부, 소화관, 머리 끝부분과 등지느러미 시작점 사이에 침착하였다. 새미의 후기자어 시기 가장 큰 특징으로 꼬리 끝 하미촉골 위쪽과 등지느러미 아래에 침착한 반점 모양의 흑색소포는 비교한 근연종들과 확연한 차이를 보여 형태적인 구분이 가능하였다. 또한 참중고기, 긴물개, 쉬리, 돌고기, 어름치는 새미와 같은 분포지역에 서식하는 종으로 이들의 후기자어기 형태적 특징은 초기생활사 과정 중에서 좋을 구분할 수 있는 기초자료가 될 것으로 사료된다.

새미는 성장 과정 동안 자어 시기에 두부와 몸의 측면에 막대 모양의 돌기가 관찰되었다. 이러한 형태의 돌기는 표면신경소구(superficial neuromast)를 이루는 모세포의 섬모 묶음으로 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 관련하여 모래무지아과 어류에서의 연구로는 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 먹이 섭식과 서식지 선택 등 초기 생존과 연관되어 있으며(Iwai, 1972; Mukai and Kobayashi, 1991; Nakajima and Onikura, 2015), cupulae는 난황 흡수 이후 먹이 섭식 시기에 최대로 발달하며 후기자어 시기에는 최대한으로 짧아져 관찰되지 않는다(Nakajima and Onikura, 2015; Song *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2021).

새미는 부화 후 1일째부터 cupulae가 관찰되었고(Fig. 3), 긴물개(Park and Han, 2022b) 부화 후 3일, 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. 이는 먹이 섭취가 시작되는 시점부터 머리를 비롯해 몸의 측면까지 발달되었고, cupulae의 발달과정이 자어의 초기 먹이 섭식과 관련 있는 것으로 보인다. 새미는 치어기로 이행한 부화 후 18일이 경과하면서 점차 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 부화 후 32일(Mun *et al.*, 2020)이 경과하면서 cupulae가 소실되었고, 후기자어 시기에 cupulae가 소실되는 쉬리(Song *et al.*, 2020), 왜매치(Park *et al.*, 2021)보

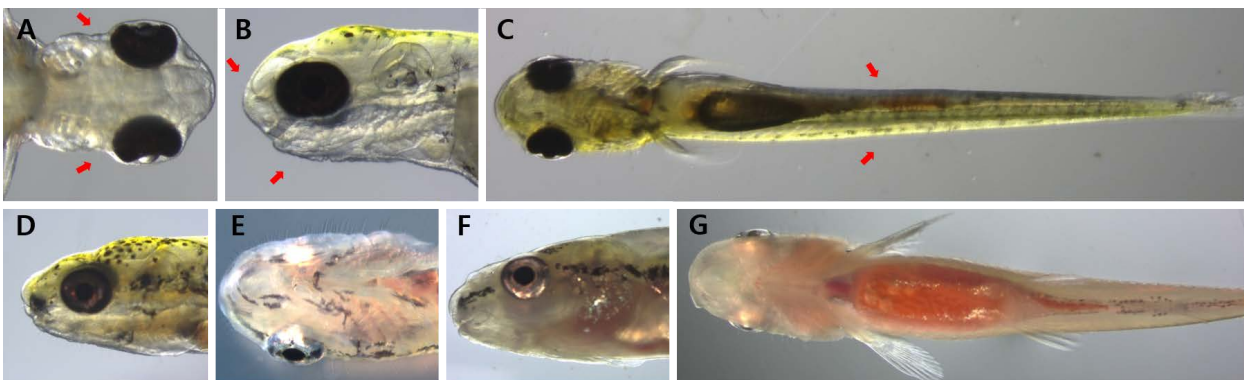


Fig. 3. Cupulae appearing in *Ladislavia taczanowskii*. A: yolk-sac, 1 days after hatching (DAH), 6.30~6.93 mm in total length (TL); B: yolk-sac, 3 DAH 6.94~7.52 mm in TL; C: preflexion, 5 DAH 9.91~10.8 mm in TL; D: flexion, 8 DAH 10.3~11.4 mm in TL; E: postflexion, 10 DAH 11.8~13.1 mm in TL; F: postflexion, 14 DAH 14.5~16.1 mm in TL; G: juvenile, 18 DAH 18.9~23.4 mm in TL (ventral view: A, C, E, G; lateral view: B, D, F).

다 새미를 비롯해 참마자(Mun *et al.*, 2020), 물개(Kim *et al.*, 2021), 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.

연구 결과를 종합해 보면 새미는 산란유도를 위한 호르몬 주사 후 인공채란과 자연산란이 원활하게 이루어지는 것을 확인할 수 있었다. 난 크기는 근연종인 모래무지아과 어류의 참붕어, 가늌돌고기, 쉬리, 물개, 돌상어와 유사하였고, 부화 직후 자어 크기는 돌고기, 감돌고기, 쉬리, 돌상어, 어름치와 유사한 것을 확인할 수 있었다. 후기자어의 형태적 특징은 꼬리 끝 하미촉골 위쪽과 등지느러미 아래쪽에 침착한 반점 모양, 머리에 발달한 세로 줄무늬, 몸 전체 불규칙적으로 침착된 흑색소포 분포가 비교한 근연종들과 형태적으로 차이를 확인할 수 있었다. 새미는 하천공사, 수질오염, 하천 유원지 활용 등 서식지 교란으로 인해 출현범위 및 점유면적 감소, 서식지 질의 하락 등을 감소 원인으로 보고 있다(Choi *et al.*, 2022). 따라서 개체수 감소로 절멸 위기에 처한 지역의 종보존을 위한 치어 방류사업 등으로 지속적인 관심과 연구가 필요할 것으로 생각된다.

요 약

이 연구는 멸종위기어류 새미의 난발생 및 자치어 형태발달을 관찰하여 초기생활사를 규명하고 종보존 연구의 기초자료로 활용하고자 실시하였다. 연구에 사용된 어미는 강원특별자치도 홍천군 홍천강 일원에서 확보하였다. 연구실에서 사육 중이던 어미는 2021년 5월 성숙한 개체를 선별하여 호르몬 주사로 산란유도를 하였다. 성숙란은 원형의 침성점착란으로 난 크기는 1.50~1.79 (평균 1.59±0.08, n=30) mm였다. 부화 시간은 수온 16.5°C 168시간, 25.5°C에서 109시간 30분이 소요되었다. 부화 직후 자어는 전장 5.55~6.31 (6.30±6.93, n=30) mm로 입과 항문이 열리지 않았고 난황을 가지고 있었다. 부화 후 5일째 전기 자어는 전장 9.91~10.8 (10.1±0.27, n=30) mm로 입과 항문이 열렸고, 먹이 섭취 활동이 시작되었다. 부화 후 8일째 중기 자어는 전장 10.3~11.4 (10.8±0.38) mm로 꼬리지느러미 끝의 척추말단 부분이 위쪽으로 휘어지기 시작하였다. 부화 후 10일째 후기 자어는 전장 11.8~13.1 (12.3±0.43) mm로 꼬리 끝의 척추말단 부분이 45°로 완전히 휘어졌다. 부화 후 18일째 치어는 전장 18.9~23.4 (20.4±1.69) mm로 각 부위별 지느러미 기조 수는 등지느러미 10개, 뒷지느러미 9개, 꼬리지느러미 22개, 배지느러미 7개로 정수에 달하였다. 연구 결과 후기자어는 꼬리 끝 하미촉골 위쪽과 등지느러미의 반점 모양, 머리에 발달한 세로 줄무늬, 몸 전체 불규칙적으로 침착된 흑색소포가 다른 모래무지아과 어류들과 형태적 차이를 보였다.

REFERENCES

- Baek, Y.G. 1978. On the life history of *Microphysogobio yaluensis* (Mori). Korean J. Limnol., 11: 43-49.
- Byeon, H.K. 2020. Ecological characteristics of Tachanovsky's Gudgeon, *Ladislabia taczanowskii* in Songcheon Stream, Korea. Korean J. Environ. Ecol., 34: 551-557.
- Chae, B.S., H.S. Song and J.Y. Park. 2019. A field guide to the fresh water fishes of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, Korea, pp. 90-126.
- 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.
- Cho, S.H., W.J. Lee, T.S. Kim, W.S. Seok, T.J. Lee, K.G. Jeong, B.K. Na and W.M. Sohn. 2014. Prevalence of zoonotic trematode metacercariae in freshwater fish from Gangwon-do, Korea. Korean J. Parasitol., 52: 399-412.
- Choi, K.S., Y.S. Bae and M.H. Ko. 2022. Distribution status and extinction threat evaluation of *Ladislabia taczanowskii* (Cypriniformes, Cyprinidae), a cold water fish in Korea. Korean J. Ichthyol., 34: 34-43.
- Chung, N.I., B.K. Park and K.H. Kim. 2011. Potential effect of increased water temperature on fish habitats in Han river watershed. J. Korean Soc. Water Environ., 27: 314-321.
- Dybowski, B.I. 1869. Vorläufige mittheilungen über die fischfauna des ononflusses und des Ingoda in Trasbaikalien. Verh. K. K. Zool. Bot. Ver. Ges. Wien V., 19: 945-958.
- 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 National University, 3: 67-76.
- Hari, R.E., D.M. Livingstone, R. Siber, P. Burkhardt-Holm and H. Güttinger. 2006. Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. Glob. Change Biol., 12: 10-26.
- 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.
- Kang, E.J., H. Yang, H.H. Lee, E.O. Kim and C.H. Kim. 2007. Characteristics on spawning-host selection and early life history of *Sarcocheilichthys nigripinis morii* (Pisces, Cyprinidae). Korean J. Soci. Environ. Biol., 25: 370-377.
- Kaushal, S.S., G.E. Likens, N.A. Jaworski, M.L. Pace, A.M. Sides, D. Seekell, K.T. Belt, D.H. Secor and R.L. Wingate. 2010. Rising stream and river temperatures in the United States. Front. Ecol. Environ., 8: 461-466.
- 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, C.H., W.S. Choi, D.H. Kim and J.M. Beak. 2014. Egg development and early life history of Korean endemic species, *Acheilognathus majusculus* (Acheilognathinae). Korean J. Ichthyol., 26: 17-24.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2007. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Publishing Co. Ltd., Seoul, Korea, 467pp.
- 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, pp. 113-125.
- Kim, K.M., H.J. Jeon and H.Y. Song. 2019. Morphological development 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.
- Kim, K.R., Y.H. Kwak, M.S. Sung, H. Yang, S.J. Cho, B.H. Yun and I.C. Bang. 2023. Embryonic and larval development of slender catfish, *Silurus microdorsalis* Mori. Korean J. Ichthyol., 35: 91-100.
- 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 tenuicorpa* (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, I.R. 2009. Studies on the conservation biology of an endangered freshwater fish, *Iksookimia choii*. Soonchunhyang University. Doctoral thesis, 167pp.
- 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.
- 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.
- ME (Ministry of Environment). 2006-2012. The 3rd national environment investigation of freshwater fish. Ministry of Environment, National institute of environmental research, Incheon, Korea.
- ME (Ministry of Environment). 2009. Development of genetic diversity analysis, culture and ecosystem restoration techniques for endangered fish, *Iksookimia choii*. Soonchunhyang University, Asan, Korea, 537pp.
- ME (Ministry of Environment). 2011. Development of culture techniques and construction of monitoring system for released seedlings of endangered fish *Koreocobitis naktongensis*. Soonchunhyang University, Asan, Korea, 250pp.
- MLTM (Ministry of Land & Transport and Maritime Affairs). 2010. Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages. Soonchunhyang University, Asan, Korea, 489pp.
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2011. Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages II. Soonchunhyang University, Asan, Korea, 363pp.
- 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.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2019. Red data book of Republic of Korea, Volume 3. Freshwater fishes. Ministry of Environment, National Institute of Biological Resources, Incheon, Korea, 250pp.
- NIE (National Institute of Ecology). 2023. An endangered wildlife at a glance. Ministry of Environment, National Institute of Ecology, Seochon, Korea, pp. 242-243.
- 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 *Abbotina 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. Repord., 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.
- 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 multi-maculatus* (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.
- Yoon, J.D. 2016. Oviposition-Host selection and oviposition characteristic of *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae* (Cyprinidae: Gobioninae). Master Thesis, Kunsan National University, 35pp.
- 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.
- Youn, S.T. 2011. Characteristic of natural nest and breeding behavior of *Ladislavia taczanowskii*. Master Thesis, Kunsan National University, Gunsan, Korea, 25pp.