

영산강에 서식하는 참중고기 *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae*의 난발생 및 자치어 형태발달

박재민 · 한경호^{1,*}

경상북도 토속어류산업화센터, ¹전남대학교 수산과학과

Morphological Development of Eggs, Larvae and Juveniles of the *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae* in Yeongsangang River, Korea 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 The eggs development and early life history of *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae* was investigated. The adult fishes were collected in Yeongsangang River, Damyang-gun, Jeollanam-do, Korea, and their spawning inducement was carried by sex maturation hormone (Ovaprim) injections. Spawning amount was mean 31 ± 3.5 Mature eggs were circular in shape and mean 2.40 ± 0.05 mm in diameter. Hatching period of the embryo was 230 to 240 hours after fertilization under water temperature of 22°C. The newly hatched larvae were 10.7 ± 0.19 mm in total length (TL). 3 days after hatching, postlarvae was measured 12.0 ± 0.13 mm in TL and the tip of the caudal fin was bent at 45°. 11 days after hatching, it was measured 14.6 ± 0.13 mm in TL, and transferred to juvenile as the number of fins (iii7 dorsal fin, iii6 anal fin, i7 ventral fins) reached a constant number of each part.

Key words: Egg development, Gobioninae, juvenile, larvae, *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae*

서 론

어류의 초기생활사 연구는 종의 이해와 함께 분류학, 생태학적 지식 등을 얻을 수 있으며 자원의 보존 및 보호와 증식 등에 이용할 수 있다(Song and Choi, 2000). 또한 종의 특징을 규명하는 것은 물론 유사종과의 계통 및 분류학적 관계를 연구하는데 중요한 기초연구 자료로 활용되고 있다(Blaxter, 1974; Balon, 1985; Kim *et al.*, 2014a; Ko and Won, 2015).

잉어목(Cypriniformes) 잉어과(Cyprinidae)의 모래무지아과(Gobioninae) 어류는 전 세계에 28속 201종이 보고되었고(Nelson *et al.*, 2016), 우리나라에는 17속 34종이 분포하는 것으로 보고되었다(Chae *et al.*, 2019). 중고기속(genus *Sarcocheilichthys*) 어류는 중고기 *Sarcocheilichthys nigripinnis morii*, 북방중고기 *S. nigripinnis czerskii*, 참중고기 *S. variegatus wakiyae*가 있으며, 참중고기는 한반도 고유아종으로 임진강에

서 낙동강까지 서해와 남해로 흐르는 하천에 분포한다(Chae *et al.*, 2019).

중고기속 어류는 현재까지 전 세계 12종 내외로 보고되었고(Nelson *et al.*, 2016), 한반도와 일본, 아무르강에서 송코이강에 이르기까지 중국과 베트남 등 동아시아 지역에만 분포하며, 강의 중하류와 호수에서 수생곤충과 부착유기물 또는 조류를 섭식한다(Bánárescu and Nalbant, 1973; Luo *et al.*, 1977; Yue, 1998). 이들은 산란시기에 남자루아과 어류와 같이 수컷에서 혼인색이 나타나며 담수산 이매패류를 산란숙주로 하여 수정란과 자어를 외부로부터 보호한다(Nakamura, 1969; Bánárescu and Nalbant, 1973; Luo *et al.*, 1977; Zhang *et al.*, 2008; Kitamura, 2011; Yan *et al.*, 2012). 그러나 최근에는 하천 개발과 서식환경의 급격한 변화로 담수 이매패류가 감소하여 산란숙주로 의존하는 남자루아과 어류와 함께 생존전략이 불리하게 작용하고 있으며(Baek and Song, 2005), 이로 인해 참중고기의 서식처는 매우 불안정한 상태로 종 보호와 자원유지를 위한 기초생물학적 연구 등이 매우 부족한 실정이다(Kim *et al.*, 2014b).

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

중고기속 어류에 대한 연구로는 중고기의 산란숙주 선택 및 초기생활사 특성(Kang *et al.*, 2007), 참중고기의 산란숙주 조개 이용 연구(Kim *et al.*, 2014b), 산란특성(Yoon, 2016), 산란생태(Jang and Byun, 2018) 등이 연구되었으나 참중고기의 초기생활사에 대한 연구는 없다. 따라서 이 연구에서는 한반도 고유 아종인 참중고기의 난발생 및 자치어 형태발달을 관찰하여 초기생활사의 특징을 밝히고 유연종 간의 차이점을 비교 논의하고자 한다.

재료 및 방법

1. 친어확보

연구에 사용된 친어는 2018년 4월 전남 담양군 수목면 개동리 일원의 영산강 본류에서 족대(망목 4×4 mm)를 이용해 채집하였고, 암컷 10마리, 수컷 15마리를 연구실로 운반해 유수식으로 사육하였으며, 이때 사육 수온은 18°C였다. 암컷의 전장은 9.16±0.68 (8~10) cm (n=10)로 산란관 길이는 1.13±0.09 (1.00~1.30) cm, 수컷 전장 11.1±0.63 (10~12) cm (n=15)이었다(Fig. 1).

2. 산란유도 및 자치어 사육

연구실로 운반한 참중고기 친어는 산란유도를 위해 수조 내부에 담수산 이매패류인 말조개(*Unio douglasiae*) 5마리를 함께 사육하였고, 이후 짙은 혼인색과 산란관이 길어지는 시점에 산란유도제 Ovaprim (Syndel, Canada)를 kg당 0.5 mL 농도로 암컷과 수컷의 등 근육에 주사하였다. 주사 후 12시간이 경과했을 때 복부를 압박해 채란하였고, 수컷의 정액과 혼합하여 습식법으로 인공수정하였으며, 수정란은 수온 21~23°C (평균 22±1.0°C)에서 부화기를 이용해 산소공급이 원활히 될 수 있도록 관리하였다. 부화자어는 난황흡수가 완료되어 부상할 때까지 부화기에서 관리하였고, 이후에는 사육수조(25×25×25 cm)에 수용하여 알테미아 부화유생(*Artemia sp. nauplius*)을 공급하였으며, 배합사료를 순차적으로 공급하였다.

3. 난발생 및 자치어 형태 관찰

참중고기의 난발생 과정 관찰을 위해 무작위로 30개를 선택해 만능투영기(JP V-12BM, Nikon, Tokyo, Japan)로 0.01 mm까지 측정하였고, 실체현미경(JP SMZ800, Nikon, Tokyo, Japan)으로 발생과정 중 나타나는 특징을 관찰 후 스케치하였다. 자치어의 안정적인 관찰과 측정을 위해 마취제(MS-222, Sindel, Canada)를 사용하였고, 부화 직후부터 치어기까지 2~5일 간격으로 무작위 10개체씩 선택해 만능투영기와

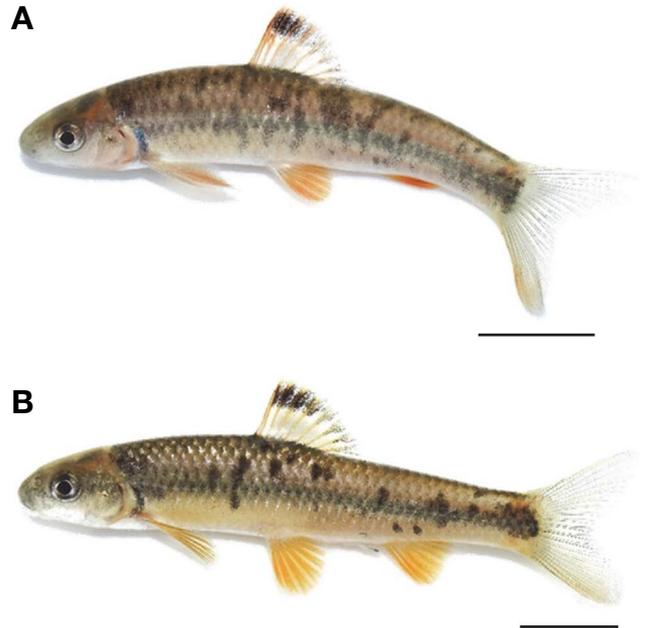


Fig. 1. Adult fish of *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae* in Yeongsangang River, Korea (A: Male; B: Female). Scale bars = 1.0 cm (Photograph by Lee, Geonwoo).

실체현미경으로 크기측정 및 형태적 특징을 관찰 후 스케치하였다. 자치어 형태발달 과정은 Ji *et al.* (2020)에 따라 구분하였다.

결 과

1. 산란기 특징

참중고기 암컷의 전장은 9.16±0.68 (8~10) cm (n=10)로 산란관 길이는 1.13±0.09 (1.00~1.30) cm였고 전장 대비 12.3%를 차지하였다. 산란량은 28~35개(평균 31±3.5개)였고, 성숙란의 형태는 원형으로 약간의 점착성을 가지고 있었으며, 색깔은 노란색을 띠었다. 난의 표면은 불투명한 막으로 싸여 있었고, 난의 특성은 물에 가라앉는 성질을 가진 침성란이었다. 성숙란의 크기는 2.40±0.05 (2.35~2.53) mm (n=30)이었다.

2. 난발생 과정

참중고기의 난은 수정 직후부터 물을 흡수하기 시작하여 수정 후 30분에 난막과 난황이 분리되었고 수정란의 크기는 3.11±0.05 (3.01~3.20) mm (n=30)이었다(Fig. 2A). 수정 후 1시간에는 세포질이 동물극으로 응집되면서 배반이 형성되었다(Fig. 2B). 수정 후 1시간 30분에는 배반의 중앙이 이등분되면서 2세포기에 달하였고(Fig. 2C), 수정 후 2시간에는 할구

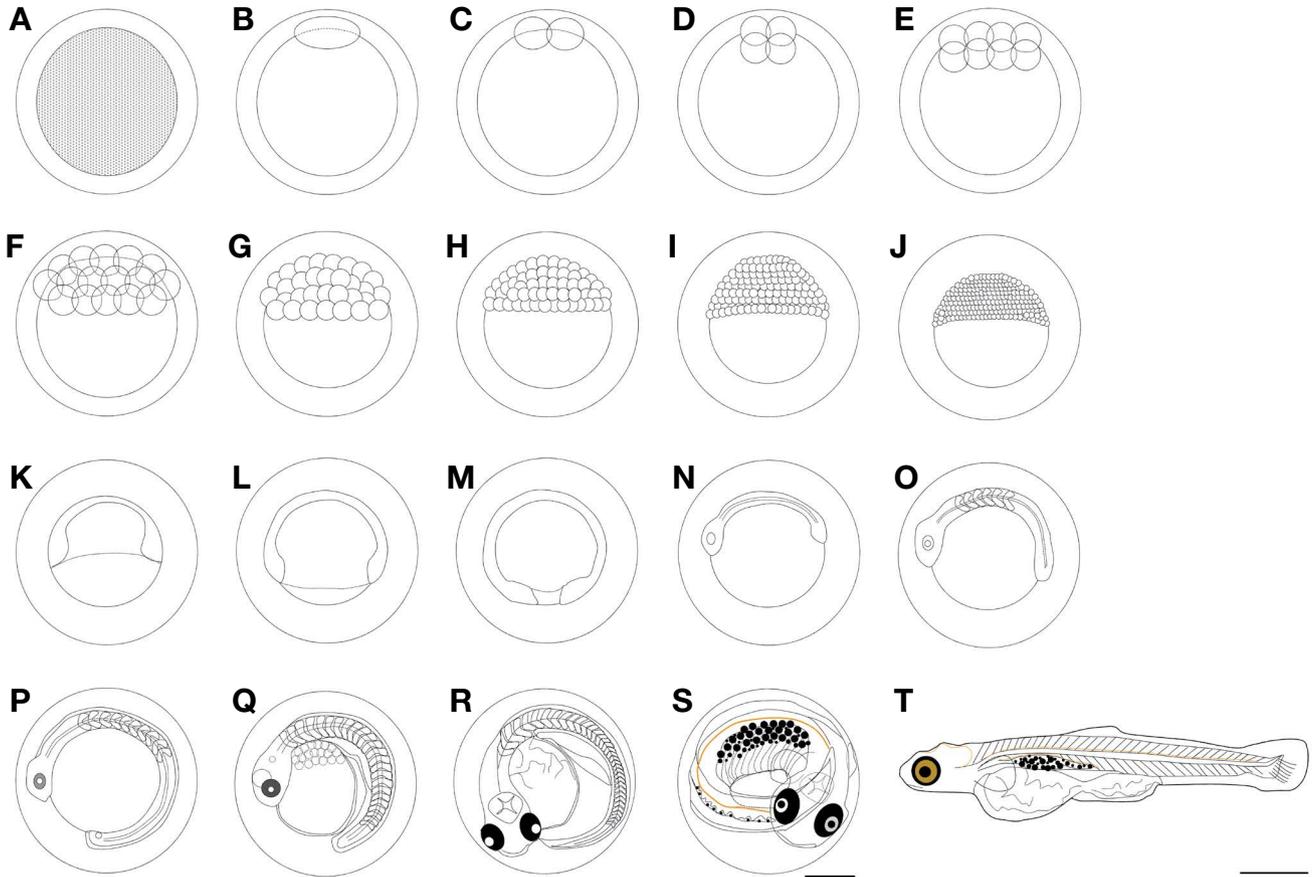


Fig. 2. The egg development of *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae* in Yeongsangang River Korea. A: fertilized egg; B: blastodisc; C: 2 cells; D: 4 cells; E: 8 cells; F: 16 cells; G: 32 cells; H: 64 cells; I: 128 cells; J: morula stage (256 cells); K: blastula stage; L: early gastrula stage; M: late gastrula stage; N: formation of embryo; O: development of optic vesicles; P: formation of Kuffer's vesicles; Q: development of tail; R: formation of melanophore; S: embryo just before hatching; T: hatched larvae. Scale bars = 1.00 mm.

가 같은 크기로 분할되면서 4세포기에 달하였다(Fig. 1D). 수정 후 2시간 30분에는 8세포기에 달하였고(Fig. 2E), 수정 후 3시간에는 16세포기에 달하였다(Fig. 2F). 수정 후 3시간 30분에는 32세포기에 달하였고(Fig. 2G), 수정 후 4시간에는 64세포기에 달하였다(Fig. 1H). 수정 후 4시간 30분에는 128세포기(Fig. 2I), 수정 후 5시간에는 상실기(256세포기)에 달하였다(Fig. 2J). 수정 후 6시간에는 배반이 내려오면서 반구를 형성하게 되었고 포배기에 달하였다(Fig. 2K). 수정 후 8시간에는 배반이 확장되면서 난황을 20% 정도 덮어내려와 초기 낭배기에 달하였고, 수정 후 14시간에는 50% 이상을 덮어내려와 중기 낭배기에 달하였으며(Fig. 2L), 수정 후 22시간에는 난황의 90% 이상 대부분 덮어내려오면서 말기 낭배기에 달하였다(Fig. 2M). 수정 후 28시간에는 원구가 완전히 폐쇄되면서 난황의 표면에는 유백색의 배체가 희미하게 형성되었다. 수정 후 38시간에는 배체가 형성되었고 몸통에는 척색과 머리에는 안포가 형성되었다(Fig. 2N). 수정 후 48시간에는 배체의 머리 부분에 안포가 뚜렷해졌고, 근절이 6개 형성되었

다(Fig. 2O). 수정 후 90시간에는 배체의 꼬리가 점차 길어졌고 Kuffer's vesicle이 꼬리 쪽에 형성되었다(Fig. 2P). 수정 후 100시간에는 Kuffer's vesicle이 소실되었고, 꼬리와 난황이 일부 분리되었다(Fig. 2Q). 수정 후 138시간에는 눈에 검은색의 흑색소포가 침착되었고, 난황 윗부분에는 심장박동과 함께 혈액이 흐르는 것이 관찰되었으며, 배체의 움직임이 활발해졌다(Fig. 2R). 수정 후 165시간에는 꼬리의 길이가 머리를 넘어섰다. 수정 후 217시간에는 머리부터 꼬리까지 몸통 정중앙에 황색소포가 선 모양으로 침착하였고, 아래에는 흑색소포가 몸통 정중앙을 따라 길게 침착되었으며, 복부에는 반점 모양의 흑색소포가 밀집되어 침착하였다(Fig. 2S). 수정 후 230시간에는 머리가 난막을 뚫고 나오면서 부화가 시작되었고, 부화 후 240시간에는 모든 개체의 부화가 완료되었다(Fig. 2T).

3. 자치어 형태발달

부화 직후 전기자어는 전장 10.7 ± 0.19 (10.4~10.9) mm

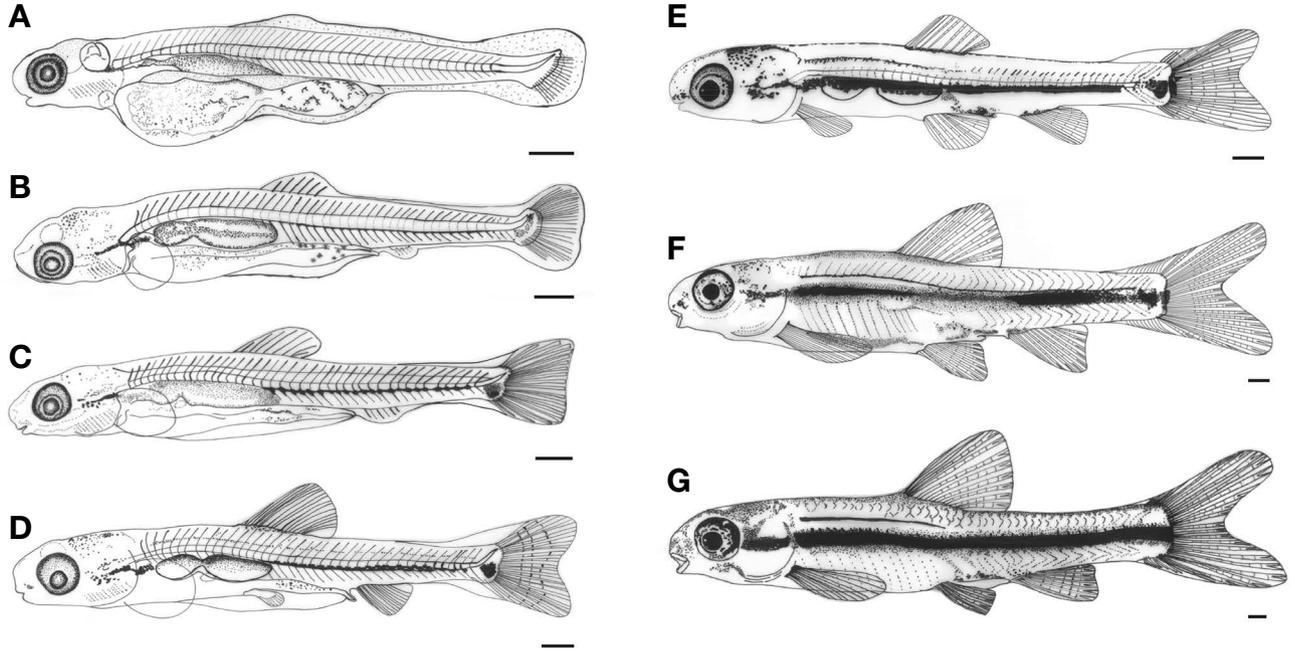


Fig. 3. Larvae and juveniles development of *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae* in Yeongsangang River Korea. A: Newly hatched larvae, 10.7 mm in total length (TL); B: 3 days after hatching (DAH), 12.0 mm in TL; C: 7 DAH, 12.6 mm in TL; D: 11 DAH, 14.6 mm in TL; E: 21 DAH, 16.1 mm in TL; F: 40 DAH, 23.5 mm in TL; G: 55 DAH, 28.2 mm in TL. Scale bars = 1.00 mm.

(n=10)로 입과 항문이 열려있었고, 복부에는 난황이 있었으며, 유영능력은 없었다. 지느러미는 등에서부터 복부까지 막으로 되어 있었으며 등과 꼬리지느러미는 분화하기 시작하였다. 꼬리 끝부분의 척추말단 부분은 위쪽으로 휘어져 있었고, 지느러미에는 기조가 발달하였다. 흑색소포는 난황 윗부분과 복부아래, 몸의 정중앙을 따라 꼬리까지 길게 침착하였다. 머리에서부터 꼬리 미병부까지는 황색소포가 길게 침착되어 있었다. 이 시기의 근질 수는 41개였다(Fig. 3A).

부화 후 3일째 후기자어는 전장 12.0 ± 0.13 (11.9~12.3) mm (n=10)로 꼬리 끝부분의 척추말단 부분은 45°로 완전히 휘어지면서 후기자어기로 이행하였고, 각 부위별 지느러미는 등과 뒷, 꼬리지느러미로 구분되었으며, 기조 수는 등지느러미 9개, 꼬리지느러미 20개 (10+10)가 발달하였다. 복부에는 두 개의 부레가 발달하였고, 정상적인 유영을 시작하면서 먹이를 섭취하였다. 흑색소포는 두부 상단과 아가미 뚜껑 윗부분에 침착하였고, 꼬리 쪽의 하미축골 위에 침착하였다(Fig. 3B).

부화 후 7일째 후기자어는 전장 12.6 ± 0.10 (12.5~12.8) mm (n=10)로 난황은 대부분 흡수하였고, 뒷지느러미에는 8개의 기조가 발달하였다. 몸 정중앙을 따라 침착되었던 흑색소포는 19~20개의 반점 모양으로 발달하였고, 두부에는 황색소포가 침착하였다(Fig. 3C).

부화 후 11일째 치어는 전장 14.6 ± 0.13 (14.5~14.9) mm (n=10)로 등지느러미 기조 수는 10개, 뒷지느러미 10개로 증가하였고, 배지느러미에는 7개의 기조가 발달하였으며, 모든

지느러미의 기조 수는 정수에 달하면서 치어기로 이행하였다. 몸 정중앙을 따라 침착되었던 황색소포 위에는 흑색소포가 함께 침착하였고, 복부의 소화관 위쪽에도 흑색소포가 침착하였다. 등지느러미와 뒷지느러미 시작점에도 흑색소포가 침착하였고, 부레 위쪽과 두부에 침착한 흑색소포는 나뭇가지 모양으로 발달하였다(Fig. 3D).

부화 후 21일째 치어는 전장 16.1 ± 0.16 (16.0~16.4) mm (n=10)로 각 부위별 지느러미 기조 수는 등지느러미 iii7개, 뒷지느러미 iii6개, 배지느러미 i7개였다. 주둥이 끝 윗부분과 꼬리 쪽 미병부에는 황색소포가 침착하였고, 흑색소포는 입의 상악 쪽과 두부 및 눈의 정중앙을 가로질러 침착하였으며, 몸의 정중앙과 지느러미 부근에 침착되었던 흑색소포는 더욱 넓게 발달하였다(Fig. 3E).

부화 후 40일째 치어는 전장 23.5 ± 0.80 (22.2~24.6) mm (n=10)로 몸 정중앙을 따라 침착한 흑색소포가 아가미 뚜껑에서부터 꼬리지느러미 시작점까지 이어졌다. 등지느러미의 기조 중앙 부분에는 흑색소포가 침착하였고, 몸 중앙에 침착되었던 황색소포는 흑색소포와 완전히 합쳐졌다(Fig. 3F).

부화 후 55일째 치어는 전장 28.2 ± 0.50 (27.6~29.1) mm (n=10)로 흑색소포는 코끝에서부터 눈앞까지 눈동자 중앙과 윗부분, 두부 상단과 아가미 뚜껑까지 넓게 침착하였고, 가슴 지느러미 시작지점부터 꼬리지느러미 시작지점까지 침착된 흑색소포는 체고의 1/3 정도 두께로 넓게 발달하였다. 두부 상단에서 시작된 흑색소포는 등을 따라 꼬리지느러미 시작지점

상단부분까지 침착하였다. 등지느러미의 중간지점에는 6번째 기조까지 반점 모양의 흑색소포가 넓게 발달하였고, 등지느러미, 배지느러미, 뒷지느러미, 꼬리지느러미의 2/3 정도에 황색소포가 침착하였다(Fig. 3G).

고 찰

본 연구에서는 우리나라 영산강에 서식하는 고유아종 참중고기의 난발생 과정과 자치어 형태발달을 관찰한 결과를 선행연구된 근연종들과 비교하였다. 영산강에 서식하는 참중고기의 산란기 특징은 4월 채집 당시 수컷의 혼인색과 추성, 암컷의 산란관 확인으로 산란기가 시작됨을 확인할 수 있었고, 암컷의 경우 산란관 길이가 길어져 있었으나 채란을 위해 복부 압박 시 알은 관찰되지 않았다. 금강 수계 지천의 참중고기(Jang and Byun, 2018)는 4월에 암컷과 수컷의 생식소 중량지수가 가장 높았고, 산란 성기를 평균수온 18°C인 5월 초에서 6월 말까지로 추정하여 본 연구의 영산강 개체와 산란시기 및 서식 수온이 동일하였다.

호르몬 주사 후 채란된 알의 개수는 28~35개(평균 31개)로 Jang and Byun (2018)의 선행연구 결과에서는 포란 수가 175~836개(평균 428개)로 채란량과 많은 차이를 보였다. 본 연구에서 영산강 개체의 알 개수가 포란 수보다 적은 이유는 산란 중인 개체들이 포획되어 알의 개수가 차이를 보이는 것으로 추정된다. 달천에 서식하는 참중고기(Kim et al., 2014b)의 알 개수는 3~27개(평균 11.4개), 같은 속의 중고기(Kang et al., 2007)는 포란수 14~29개(평균 20.6개)로 본 연구의 참중고기와 마찬가지로 산란 중인 개체에서 확인된 것으로 추정되며, 산란 직전부터 산란기 끝 무렵까지 채란되는 알 개수 변화를 관찰한다면 정확한 산란량을 추정할 수 있을 것으로 생각된다. 채란 시 암컷의 전장은 8~10 cm, 산란관 길이는 1.00~1.30 cm로 전장 대비 12.3%를 차지하였고, 달천에 서식하는 참중고기(Kim et al., 2014b)는 암컷 전장 6.01~8.95 cm, 산란관 길이는 0.7~1.25 cm로 전장 대비 13.9%를 차지하여 암컷의 크기에 따라 차이가 있었으나 비교적 유사하였다.

참중고기는 출수공보다 입수공을 통해 조개의 외투강에 산란하는 것으로 보고되었으며(Kim et al., 2014b), 알의 크기는 수정 후 지름 3~4 mm까지 팽창해 조개의 외투강에서 밖으로 빠지지 않을 정도로 커지며 이러한 현상은 알이 조개 외부로 유실을 방지하고 난황을 흡수할 때까지 납자루아과 어류의 알과 자어의 산소, 산란 위치를 두고 경쟁을 피하기 위한 생태지위분할 현상인 것으로 보고있다(Hirai, 1964; Kondo et al., 1984; Nagata and Nakata, 1988; Fukuhara et al., 1998; Kitamura, 2007).

이 연구에서의 성숙란 형태는 원형으로 크기 또한 장경과

단경에 큰 차이가 없었다. 난의 크기는 2.35~2.53 mm로 지천에 서식하는 참중고기(Jang and Byun, 2018)는 타원형으로 장경 2.38 mm, 단경 1.98 mm, 중고기(Kang et al., 2007)는 타원형으로 장경 2.3 mm, 단경 2.6 mm이었고, 새미(Youn, 2011)는 1.5 mm로 가장 작았으며, 난의 크기는 영산강과 지천의 참중고기 모두 유사하였다. 중고기(Kang et al., 2007)는 수정 후 1시간이 경과했을 때 난 형태가 구형으로 변하여 참중고기와 차이를 보였고, 크기 또한 평균 3.9 mm로 더욱 커져 성숙란과 수정란의 크기 변화를 확인할 수 있었다.

부화 소요시간은 참중고기가 수온 21~23°C 230~240시간이 소요되었고, 중고기(Kang et al., 2007)는 수온 15~21°C에서 252시간(10일 12시간)이 소요되어 중고기보다 참중고기가 다소 빨리 부화하였다. 같은 모래무지아과 어류와 비교한 결과 수온 17~19°C 사이의 돌고기 *Pungtungia herzi* (Lee et al., 2002) 186시간, 감돌고기 *P. nigra* (Lee et al., 2004) 189시간, 참붕어 *Pseudorasbora parva* (Han et al., 2001) 183시간, 모래무지 *Pseudogobio esocinus* (Lee et al., 2008) 164시간, 참마자 *Hemibarbus longirostris* (Mun et al., 2020) 175시간으로 참중고기보다 낮은 수온임에도 부화시간이 짧게 소요되었다.

수온 20~22°C 사이의 쉬리 *Coreoleuciscus splendidus* (Park et al., 2019) 172시간, 왜매치 *Abbottina springeri* (Park et al., 2021) 72시간, 여울마자 *Macrophysogobio rapidus* (Hong et al., 2015) 72시간, 어름치 *H. mylodon* (Ko et al., 2017) 72시간이 소요되어 참중고기와 유사한 수온 범위 임에도 부화시간이 짧게 소요되었다.

수온 23°C에서는 가는돌고기 *Pseudopungtungia tenuicarpa* (Ko et al., 2012) 240시간, 모래주사 *M. koreensis* (Kim et al., 2012) 29시간, 돌마자 *M. yaluensis* (Baek, 1978) 20시간, 꾸구리 *Gobiobotia macrocephala* (Ko et al., 2011b) 107시간, 돌상어 *G. brevibarba* (Ko et al., 2011a) 120시간, 흰수마자 *G. naktongensis* (Ko et al., 2013) 26시간이 소요되었다.

참중고기와 유사한 수온 20~23°C 범위에서는 가는돌고기와 유사하였고 같은 속의 중고기와는 다소 낮거나 근접한 수온이었으나 참중고기보다 오랜 시간이 소요되었으며, 중고기가 비교한 모래무지아과 어류 중에서도 가장 오랜 시간이 소요되었다.

부화 직후의 자어크기는 참중고기 전장 10.7 mm로 중고기(Kang et al., 2007) 9.60 mm, 왜매치(Park et al., 2021) 2.16 mm, 여울마자(Hong et al., 2015) 2.79 mm, 모래주사(Kim et al., 2012) 2.20 mm, 돌마자(Baek, 1978) 0.70 mm, 참붕어(Han et al., 2001) 5.16 mm, 돌고기(Lee et al., 2002) 6.00 mm, 감돌고기(Lee et al., 2004) 5.82 mm, 가는돌고기(Ko et al., 2012) 8.60 mm, 모래무지(Lee et al., 2008) 4.61 mm, 꾸구리(Ko et al., 2011b) 4.60 mm, 돌상어(Ko et al., 2011a) 5.50 mm, 흰수마자(Ko et al., 2013) 3.40 mm, 참마자(Mun et al., 2020) 8.10

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>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>	3.11 ±0.05	31 ±3.5 (28~35)	230~240h (22°C)	10.7 ±0.19	3 days (12.0 ±0.13)	11 days (14.6 ±0.13)	Present study
<i>Abbottina springeri</i>	1.08 ±0.02	1,662 ±437 (1,225~2,100)	72h (21~23°C)	2.16 ±0.04	25 days (9.44 ±0.16)	35 days (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. koreensis</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. brevibarba</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. nakdongensis</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>Hemibarbus 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>H. labeo</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
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	1.91 ±0.14	318 ±149 (212~424)	172h (19°C)	5.95 ±0.96	10 days (8.54 ±0.14)	88 days (25.9 ±0.35)	Park <i>et al.</i> , 2019

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

mm, 어름치(Ko *et al.*, 2017) 6.60 mm, 누치 *H. labeo* (He *et al.*, 1999) 7.92 mm, 쉬리(Park *et al.*, 2019) 5.95 mm로 참중고기가 가장 큰 것으로 나타났다. 참중고기의 부화자어는 부화 직전 알에서부터 몸 정중앙을 따라 황색소포가 나타났으며, 비교한 모래무지아과 어류 가운데 난발생 과정 동안 흑색소포 이외에 황색소포는 관찰되지 않아 차이를 보였다. 또한 참중고기는 부화 직후부터 척추 말단 끝부분이 위쪽으로 일부 휘어져 있었고, 등지느러미의 분화와 입이 열려있어 상당부분 발달이 이루어진 상태로 부화하였다. 비교한 모래무지아과 어류의 돌고기(Lee *et al.*, 2002), 가는돌고기(Ko *et al.*, 2012), 감돌고기(Lee *et al.*, 2004) 및 쉬리(Park *et al.*, 2019)는 부화 직후 척추 말단 끝부분이 휘어지지 않았고, 등지느러미 분화 또한 이루어지지 않아 참중고기는 부화시간이 오래 소요되는 만큼 난 내에서 많은 발달이 이루어지는 것으로 사료된다.

후기자어로 이행시키는 참중고기가 부화 후 3일로 왜매치(Park *et al.*, 2021) 25일, 여울마자(Hong *et al.*, 2015) 24일, 모래주사(Kim *et al.*, 2012) 20일, 참붕어(Han *et al.*, 2001) 32일, 돌고기(Lee *et al.*, 2002) 13일, 감돌고기(Lee *et al.*, 2004) 6일, 가는돌고기(Ko *et al.*, 2012) 2일, 모래무지(Lee *et al.*, 2008) 29일, 꾸구리(Ko *et al.*, 2011b) 10일, 돌상어(Ko *et al.*, 2011a) 15일, 흰수마자(Ko *et al.*, 2013) 13일, 어름치(Ko *et al.*, 2017) 14일, 누치(He *et al.*, 1999) 14일, 쉬리(Park *et al.*, 2019) 10일로 참중고기는 가는돌고기와 유사하였다. 치어기로 이행시키는 참중고기 부화 후 11일, 왜매치(Park *et al.*, 2021) 35일, 여울마자(Hong *et al.*, 2015) 30일, 모래주사(Kim *et al.*, 2012) 40일, 참붕어(Han *et al.*, 2001) 48일, 돌고기(Lee *et al.*, 2002) 45일, 감돌고기(Lee *et al.*, 2004) 44일, 가는돌고기(Ko *et al.*, 2012) 10일, 모래무지(Lee *et al.*, 2008) 42일, 꾸구리(Ko *et al.*, 2011b) 15일, 돌상어(Ko *et al.*, 2011a) 20일, 흰수마자(Ko *et al.*, 2013) 20일, 참마자(Mun *et al.*, 2020) 25일, 어름치(Ko *et al.*, 2017) 21일, 누치(He *et al.*, 1999) 32일, 쉬리(Park *et al.*, 2019) 88일로 가는돌고기와 유사하였다(Table 1).

연구 결과를 종합해 보면 영산강의 참중고기 난은 지천의 참중고기보다 큰 것으로 나타났으나 같은 관찰시점에서 수정란의 크기 비교가 필요할 것으로 생각된다. Kim (1984)의 계통분류 연구 결과에 따라 같은 그룹(genus *Sarcocheilichthys*, *Pseudopuntungia*, *Ladislavia*, *Coreoleuciscus*)에 속하는 어류들과 비교하였을 때 참중고기는 그룹 내에서도 난경 및 부화자어 크기가 가장 컸고, 후기자어 및 이행시키는 차이를 보였으나 부화시간은 가는돌고기와 유사한 것을 확인하였다. 부화 직후 자어크기는 비교한 모래무지아과 어류 가운데 가장 큰 것으로 나타나 구분할 수 있었다. 참중고기는 부화 직전 알에서부터 자어의 몸에 황색소포가 확인되었고 국내에서 지금까지 연구된 모래무지아과 어류 중 알에서부터 황색소포가 관찰된 결과는 없었으며, 향후 연구되는 모래무지아과 어류의 초

기생활사 관찰을 통해 비교 연구가 필요할 것으로 보인다. 또한 참중고기는 수계별로 수컷의 혼인색과 등지느러미의 검은 띠가 수계별로 다르게 나타나 상세한 연구가 필요하다(Chae *et al.*, 2019). 특히 이들은 하천의 수질오염, 하상공사 등 서식지 환경이 불안정하여 생존에 대한 위험성이 크며(Kim *et al.*, 2014b), 종 보전을 위한 자료가 부족해 초기생활사를 비롯한 지속적인 관심과 다양한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

요 약

본 연구는 참중고기 *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae*의 난발생 및 자치어 형태발달을 관찰하여 초기생활사 특징을 밝히고 유연종과 난 및 부화자어 크기, 후기자어 및 치어기 이행시기를 비교 논의하고자 실시하였다. 연구에 사용된 친어는 전남 담양군의 영산강 일원에서 채집하였고 호르몬(Ovaprim)을 주사하여 산란을 유도하였다. 산란량은 평균 31 ± 3.5 개였고, 성숙란은 원형이었다. 성숙란의 크기는 평균 2.40 ± 0.05 mm였다. 부화시간은 수온 22°C 에서 230~240시간이 소요되었다. 부화자어 크기는 평균 10.7 ± 0.19 mm였고, 부화 후 3일 평균 크기 12.0 ± 0.13 mm일 때 척추 끝부분이 45° 로 완전히 휘어졌고 후기자어기로 이행하였다. 부화 후 11일째 평균크기 14.6 ± 0.13 mm일 때 모든 지느러미의 기초 수(등지느러미 iii7, 뒷지느러미 iii6, 배지느러미 i7)가 정수에 달하면서 치어기로 이행하였다.

사 사

본 연구의 친어확보 및 사진촬영에 도움을 주신 보령민물생태관 조성장 대표님, 한국의 물고기 이견우 매니저님께 감사의 말씀을 드립니다.

REFERENCES

- Baek, H.M. and H.B. Song. 2005. Egg morphology and early life history of *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae). Korean J. Ecol., 28: 281-286. <https://doi.org/10.5141/JEFB.2005.28.5.281>.
- Baek, Y.G. 1978. On the life history of *Microphysogobio yaluensis* (Mori). Korean J. Limnol., 11: 43-49.
- Balon, E.K. 1985. Early life histories of fishes: New developmental, ecological and evolutionary perspectives. Dr. W. Junk publisher, Dordrecht, Netherlands, 280pp.
- Bánárescu, P. and T.T. Nalbant. 1973. Pisces, Teleostei, Cyprinidae

- (Gobioninae). Das Tierreich Lieferung 93. Walter de Gruyter, Berlin, Germany, 304pp.
- Blaxter, J.H.S. 1974. The early life history of fish. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 765pp.
- Chae, B.S., H.B. Song and J.Y. Park. 2019. A field guide to the freshwater fishes of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, Korea, pp. 89-126.
- Fukuhara, S., W. Maekawa and Y. Nagata. 1998. Comparison of utilization of freshwater mussels for deposition of the bitterlings in three creeks of northwest Kyushu. Memoirs Osaka Kyoiku University III Natural Science and Applied Science, 47: 27-38.
- 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. Yosul 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.
- Hirai, K. 1964. Comparative studies on ecology of four species of bitterlings in the Lake Biwa. Physiol. Ecol. Japan, 12: 72-81.
- 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.
- Jang, J.W. and H.K. Byun. 2018. Spawning ecology of *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae* (Cyprinidae) in Jicheon Stream, Korea. Korean J. Ichthyol., 30: 217-223.
- 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.
- 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. 2014a. Egg development and early life history of Korean endemic species, *Acheilognathus majusculus* (Acheilognathinae). Korean J. Ichthyol., 26: 17-24.
- Kim, H.S., J.D. Yoon, H. Yang and J.Y. Park. 2014b. Host mussel utilization for spawning of the oily shinner, *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae* (Pisces: Cyprinidae), inhabiting the Dalcheon, Namhangang (river) from Korea. Korean J. Ichthyol., 26: 17-27.
- Kim, I.S. 1984. The taxonomic study of gudgeons of the subfamily Gobioninae (Cyprinidae) in Korea. Bull. Korean Fish. Soc., 17: 436-448.
- Kitamura, J. 2007. Reproductive ecology and host utilization of four sympatric bitterling (Acheilognathinae, Cyprinidae) in a lowland reach of the Harai River in Mie, Japan. Environ. Biol. Fish., 78: 37-55.
- Kitamura, J. 2011. Host mussel utilization by *Sarcocheilichthys variegatus variegatus* (Cyprinidae, Sarcocheilichthyinae) in a drainage ditch and the Harai River of the Kushida River system, Japan. Jpn. J. Ichthyol., 58: 195-198.
- 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., K.S. 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.
- Ko, M.H. and Y.J. Won. 2015. Egg development and early life history of the Korean spin loach, *Cobitis tetralineata* (Pisces: Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 27: 95-103.
- Kondo, T., J. Yamashita and M. Kano. 1984. Breeding ecology of five species of bitterling (Pisces: Cyprinidae) in a small creek. Physiol. Ecol. Japan, 21: 53-62.
- 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. Yosul Natl. Univ., 4: 115-126.
- Lee, S.H., K.H. Han, S.M. Yun, D.S. Hwang, D.J. Yu, C.R. Lee, I.S. Kim and Y.M. Son. 2004. Early life history and spawning behavior of *Pseudopungtungia nigra*. Korean J. Ichthyol., 16: 309-316.
- Luo, Y.L., P.Q. Yue and Y.Y. Chen. 1977. Gobioninae. In: Wu, X.W. (ed.). The cyprinid fish of China (II). Shanghai: Shanghai People's Press, pp. 436-549.
- 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.
- Nagata, Y. and Y. Nakata. 1988. Distribution of six species of bitter-

- lings in a creek in Fukuoka Prefecture. Jpn. J. Ichthyol., 35: 320-331.
- 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.
- Nelson, J.S., T.C. Grande and M.V.H. Wilson. 2016. Fishs of the world (Fifth edition). John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, U.S.A., 467pp.
- 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. <https://doi.org/10.35399/ISK.33.3.2>.
- 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. <https://doi.org/10.12717/DR.2019.23.2.161>.
- 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.
- Yan, Y., Y. Xu, L. Chu, S. He and Y. Chen. 2012. Age, growth and reproduction of *Sarcocheilichthys nigripinnis* from the Qingyi stream in the Huangshan Mountains. Zool. Res., 33: 25-31.
- Yoon, J.D. 2016. Oviposition-Host selection and oviposition characteristic of *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae* (Cyprinidae: Gobioninae). Master Thesis, Kunsan National University, 35pp.
- Youn, S.T. 2011. Characteristic of natural nest and breeding behavior of *Ladislabia taczanowskii*. Master Thesis, Kunsan National University, 11pp.
- Yue, P.Q. 1998. Gobioninae. In: Chen, Y.Y. (ed.), Fauna sinica (Osteichthyes Cypriniformes II), Science press, Beijing, China, pp. 232-289.
- Zhang, L., Q.Y. Tang and H.Z. Liu. 2008. Phylogeny and speciation of the eastern Asian cyprinid genus *Sarcocheilichthys*. J. Fish. Biol., 72: 1122-1137.