

# 치리(*Hemiculter leucisculus*)의 난 발생 및 자치어 형태 발달

김경무 · 김승용 · 송미영 · 송하윤\*

국립수산과학원 중앙내수면연구소

**Morphological Development of Egg and Larvae of *Hemiculter leucisculus* by Kyeong-Mu Kim, Seung-Yong Kim, Mi-Young Song and Ha-Yun Song\*** (Inland Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gapyeong 12453, Republic of Korea)

**ABSTRACT** The egg development and early life history of Sharpbelly *Hemiculter leucisculus* were investigated. For the experiments, the mature adults were collected at the Lake Yedang in Korea. The eggs from the females were obtained by injecting 10 IU/g of human chorionic gonadotropin and inseminated by wet method in the laboratory. The fertilized eggs were  $0.97 \pm 0.02$  mm ( $0.9 \sim 1.0$  mm,  $n = 30$ ) in diameter. The embryo began to hatch about 32 hrs after fertilization under water temperature of  $22 \pm 1^\circ\text{C}$ . The newly-hatched larvae were  $3.0 \pm 0.2$  mm ( $2.6 \sim 3.4$  mm,  $n = 15$ ) in total length, and they haven't Melanophore. Six days after hatching, the Preflexion larva were  $5.7 \pm 0.1$  mm ( $5.4 \sim 5.8$  mm,  $n = 15$ ) in total length, and they began to eat a Rotifer. 17 days after hatching, the Flexion larva were  $6.8 \pm 0.2$  mm ( $6.5 \sim 7.0$  mm,  $n = 15$ ) in total length, and a gas bladder develop above the intestine. 30 days after hatching, the Postflexion larva were  $8.8 \pm 0.7$  mm ( $7.9 \sim 10.3$  mm,  $n = 15$ ) in total length, three dorsal fin rays began to develop in the membrane fins. 50 days after hatching, the Juvenile were  $20.8 \pm 0.8$  mm ( $18.8 \sim 24.6$  mm,  $n = 15$ ) in total length, and all their fin-rays were formed.

**Key words:** *Hemiculter leucisculus*, egg development, early life history

## 서 론

우리나라에 분포하는 잉어과(Cyprinidae) 강준치아과(Cultrinae) 살치속(*Hemiculter*) 어류에는 살치 *Hemiculter bleekeri*와 치리 *H. leucisculus* 2종이 분포하는 것으로 보고되었으나 (Dai and Yang, 2003; Kim *et al.*, 2014; Chae *et al.*, 2019), 살치와 치리는 두 종간 학명 사용에 대한 분류학적 논란이 있었다 (Uchida, 1939; Kim and Lee, 1986; Chen *et al.*, 1998). 과거 치리는 *Hemiculter eigenmanni*로 살치는 *H. leucisculus*로 분류되었으나 최근 Cho *et al.* (2012)과 Kim *et al.* (2014)은 동북아시아에 서식하는 살치속 어류의 외부형질과 mitochondria DNA cytochrome *b* 영역을 이용한 분자계통학적 분석 결과를 토대로 우리나라에 서식하는 치리는 *H. leucisculus*로 분류하는 것

이 타당하다고 판단하였으며, 살치는 외부형태와 유전적으로 *H. bleekeri*와 일치하기 때문에 *H. bleekeri*로 분류하였다.

치리는 한국, 중국, 몽골, 러시아의 아무르강 수계 등 동북아시아에 서식하고 있으며 (Basilevsky, 1855; Smith *et al.*, 2014) 국내에는 압록강을 포함한 서해와 남해로 흐르는 하천의 중·하류에 서식한다. 최근 많은 중앙아시아 국가와 일본 혼슈 지역에 이입이 보고되었으며 (Borisova, 1972; Coad, 1981; Esmaeili and Gholamifard, 2011; Tarkan *et al.*, 2017; Nitta *et al.*, 2017; Dong *et al.*, 2020) 국내에서도 낙동강과 울진 왕피천에 이입된 것으로 보고되었다 (Kim *et al.*, 2011; Chae *et al.*, 2019). 한편 과거 치리에 대한 연구는 성적 이형 (Huang and Zeng, 2016), 산란 및 산란 빈도 (Wang *et al.*, 2016), 계통학적 연구 (Chen *et al.*, 2017), 연령과 성장 (Wang *et al.*, 2013), 골격 (Yabumoto *et al.*, 2008)에 관한 연구가 진행되었으며, 특히 치리의 초기생활사에 대한 연구 (Kim and Kim, 1984)는 난 발생과 부화 자어의 형태에 대한 일부 연구만 진행되어 있어 전체 초기생활사에 대한 연구가 필요하였다.

저자 직위: 김경무(연구원), 김승용(석사 후 인턴연구원), 송미영(해양수산연구원), 송하윤(해양수산연구원)  
\*Corresponding author: Ha-Yun Song Tel: 82-31-589-5180, Fax: 82-31-589-5151, E-mail: fish8607@korea.kr

생물체의 개체발생은 계통발생을 반복하기 때문에 분류학적으로 구분이 어려운 자매종이나 유사종 사이에 종을 구분하거나 유연관계를 연구하는 것에 있어서 초기생활사 연구는 유용한 기초 연구 자료로 이용될 수 있으며, 어류의 발생 과정 중에 드러난 많은 형질들은 근연종들의 분류학적인 유연관계를 밝히는 데 중요한 자료를 제공한다(Blexter, 1974; Balon, 1985). 본 연구에서는 우리나라의 많은 호소에 우점종 또는 아우점종으로 (Lee, 1992; Yang *et al.*, 1997a, 1997b; Lee and Kim, 2002; Han *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2014) 분포하는 치리의 기초 생물학적 연구로 인공수정을 통해 난 발생 및 자치어 형태 발달을 관찰하여, 호소에 서식하는 담수어류의 자치어 형태 동정을 위한 분류형질을 파악하고 근연종과의 초기생활사 특징을 논의하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험어 확보

본 연구에 사용한 치리의 성어는 2019년 4월 충청남도 예산군 웅봉면 일대의 예당호에서 삼각망(망목 10 mm)을 이용하여 채집한 암컷 30개체(전장  $188.3 \pm 24.5$  mm, 체중  $56.0 \pm 20.4$  g), 수컷 30개체(전장  $132.0 \pm 20.2$  mm, 체중  $19.8 \pm 10.5$  g)를 실험실로 운반하여 수온  $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 사육 관리하였다.

### 2. 산란 유도 및 관리

채집된 개체 중 성숙한 친어를 선별하여 HCG (human chorionic gonadotropin; Daesung microbiological labs Co., Korea) 호르몬을 10 IU/g의 농도로 복강 주사한 뒤, 12시간 경과 후 복부를 압박을 통하여 채란 후 성숙란을 습식법으로 인공수정하였다. 수정란은 난경 15 cm Petri dish에 분산 수용한 후 수온  $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지하여 관리하였다. 부화 자어의 사육은 난황 흡수가 완료되는 시점부터 사육수조(200 × 100 × 50 mm)로 옮겨 윤충류(rotifer) 공급을 시작하였고, 자어가 성장함에 따라서 *Artemia* sp. (brine shrimp) 유생과 미립자 배합사료를 순차적으로 공급하였다. 사육 용수는 부화 후 45일까지 매일 오전과 오후에 전체 사육 수의 1/2를 환수하였다.

### 3. 난 발생 및 자치어 발달 관찰

수정 이후 난할의 분할 과정은 디지털카메라(PL-B873CU, Pixelink Co., Korea)가 부착된 해부현미경(SZH-10, Olympus Co., Japan)의 10~50×배율로 관찰 및 발달 단계를 촬영하였다. 성숙란 및 수정란의 난경은 30개를 측정하여 평균치를 계산하였으며, 자치어의 크기는 매일 무작위로 15개체를 선별

한 후 마취제 MS-222 (MS-222, Tricaine methanesulfonate; Sindel Co., Canada)를 사용하여 마취 후 전장을 0.1 mm 단위까지 측정하였다. 난 발생 과정의 용어는 Russel (1976)을 따랐으며, 자치어의 성장단계의 표기와 용어는 Kim *et al.* (2011), Okiyama (2014)를 따라 자어가 부화 후 난황 흡수 완료 전까지를 난황자치어(Yolksac larva), 난황 흡수 완료 후 척색말단 굴곡 전까지를 전기자치어(Preflexion larva), 척색말단 굴곡 시작 후 완료까지를 중기자치어(Flexion larva), 척색말단 굴곡이 완료 후 각 지느러미가 정수에 도달하기 전까지를 후기자치어(Postflexion larva), 모든 지느러미가 정수에 도달한 시기를 치어(Juvenile)로 구분하였다.

## 결 과

### 1. 난의 형태 및 특성

치리의 성숙란의 난경은  $0.91 \pm 0.04$  mm (0.8~1.0 mm, n = 30)이며, 수정 직후 수분을 흡수하여 팽창하기 시작하여 난막이 난황과 분리되었다. 수정 15분 후 난막과 난황 사이에 위랑강 형성이 완료되었다. 수정란은 원형의 불투명한 진한 담녹색을 띠는 침성점착란으로 수정란의 난경은 평균  $0.97 \pm 0.02$  mm (0.9~1.0 mm, n = 30)이었다(Fig. 1A).

### 2. 난 발생 과정

치리의 난 발생 과정은 총 6단계로 구분하였으며(수정, 난할, 포배형성, 낭배형성, 기관형성, 부화) 발생 기간(Period)과 세부 발생 단계(Stage)는 Table 1에 각각 제시하였다.

#### 1) Step I. 세포질 응집(zygote)

Stage A. 수정 15분 후 세포질이 동물극으로 응집되는 것이 관찰되었고, 수정 후 35분이 경과하면서 배반(blastodisc)이 동물극에 형성되었다(Fig. 1B).

#### 2) Step II. 난할과정(cleavage)

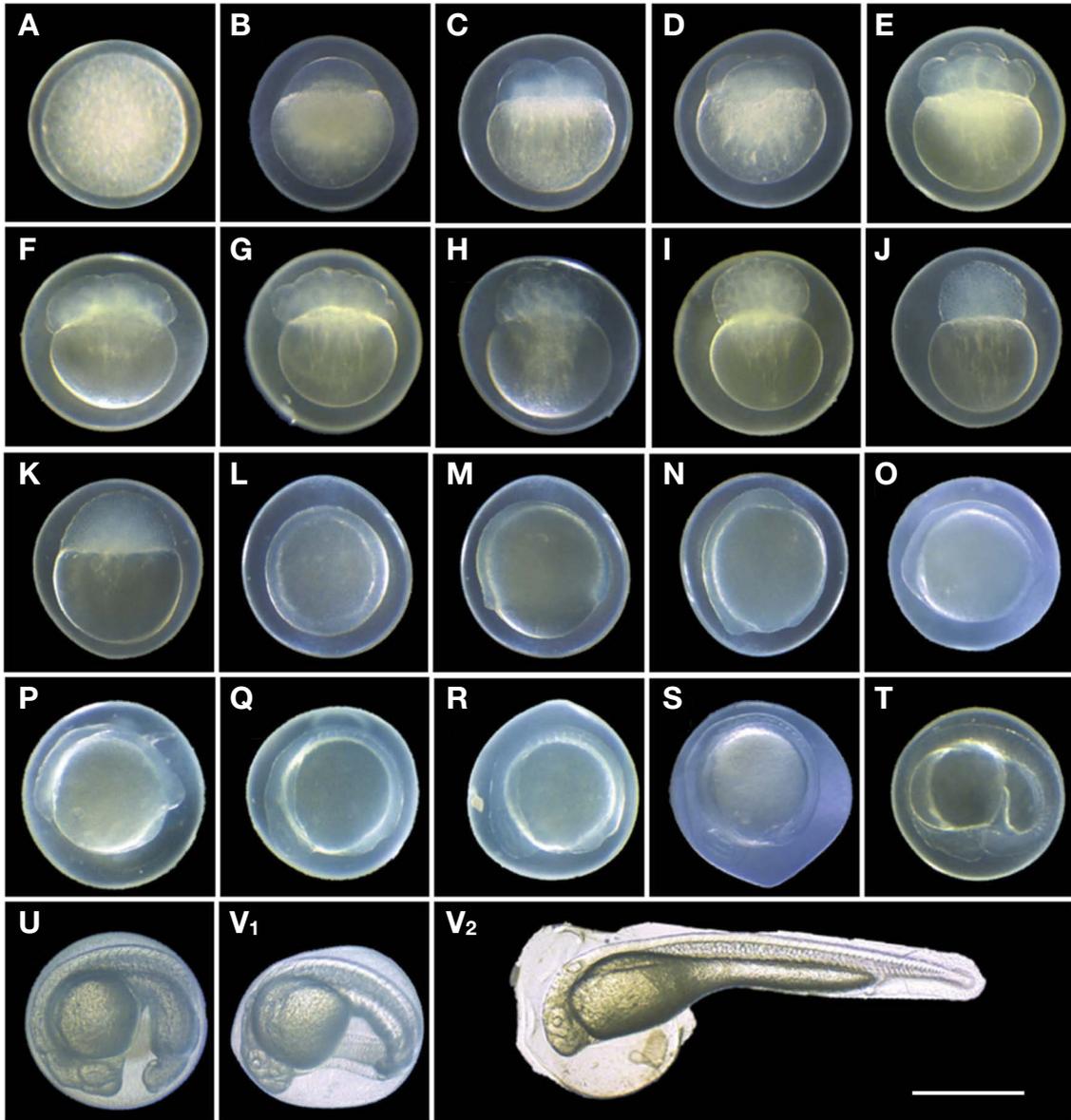
Stage B. 수정 후 50분에 배반이 수직으로 이등분되어 2세포기로 이행하였다(Fig. 1C).

Stage C. 수정 후 1시간 5분에 2개의 할구가 난할이 진행되어 4세포기에 도달하였다(Fig. 1D).

Stage D. 수정 1시간 20분 후 8세포기로 이행하였다(Fig. 1E).

Stage E. 수정 후 1시간 25분에는 8개의 할구가 각각 분할하여 16세포기에 도달하였다(Fig. 1F).

Stage F. 수정 후 1시간 45분에 16개의 할구가 각각 2개로 분할되며 32세포기로 이행하였다(Fig. 1G).



**Fig. 1.** Egg development of *Hemiculter leucisculus*. A~H stage is views are shown during early cleavage stages. I~J stage is views are shown during early blastula stages. K~N stage is views are shown during early gastrula stages. O~U stage is views are shown during early segmentation stages. V1~V2 The hatched larva, 34~38 hr after fertilization. Face views are shown during cleavage and blastula stage. After the gastrula stage, the views are of the embryo's left side. Time required for each developmental stage is shown in Table 1 (Scale bar = 1.0 mm).

Stage G. 수정 후 2시간을 전후하여 할구가 작아지고 조밀하게 응집되어 64세포기에 도달하였다(Fig. 1H).

**3) Step III. 포배형성과정(blastula)**

Stage H. 수정 2시간 30분 후 할구의 크기가 작아지고, 수가 점차 증가하여 128세포기에 도달하여 상실기(morula) 이행하였다(Fig. 1I).

Stage I. 수정 3시간 후 배반의 가장자리가 식물극 쪽으로 완만하게 기울어지며 확장되어 포배기(blastula)에 도달하였다(Fig. 1J).

**4) Step IV. 낭배형성과정(gastrula)**

Stage J. 수정 후 6시간 45분에 배반이 아래쪽으로 점차 확장되어 난황의 1/3을 덮고, 배반의 가장자리가 점차 증가하여 피복현상(epiboly)이 유지되며 30% epiboly에 도달하였다(Fig. 1K).

Stage K. 수정 후 8시간 30분에 피복현상이 식물극 쪽으로 확장되며 배반이 난황의 1/2을 덮어 50% epiboly에 접어들었다(Fig. 1L).

Stage L. 수정 13시간 후 배반이 난황의 2/3를 덮어 70% epiboly에 도달하였다(Fig. 1M).

Stage M. 수정 15시간 후 전후하여 배반이 난황의 대부분을

**Table 1.** Time required for embryonic stages of *Hemiculter leucisculus* at 22°C

Stage	Elapsed		Characters	Fig. 1	
	Hrs	Min			
Zygote period	Insemination	00	00		
	Swelling	00	15	A	
	Blastodisc	00	35	B	
Cell cleave period	2 cells	00	50	2 blastodisc is cleavage	C
	4 cells	01	05	2×2 array of blastomeres	D
	8 cells	01	20	2×4 array of blastomeres	E
	16 cells	01	25	4×4 array of blastomeres	F
	32 cells	01	45	4×8 array of blastomeres	G
	64 cells	02	00	8×8 array of blastomeres	H
Blastula period	Morula	02	30		I
	Blastula	03	05		J
Gastrula period	Early gastrulation	08	30	50% epiboly	L
	Middle gastrulation	13	30	70% epiboly	M
	Late gastrulation	14	00	90% epiboly	N
Embryonic period	Formation of the embryo	15	30		O
	2 myotomes				P
	7~9 myotomes	17	30	Formation of optic vesicles	Q
	10~12 myotomes	18	30		R
	13~14 myotomes	19	30		S
	Formation of heart	24	00		T
Hatching period	25~29 myotomes	25	30		U
	Hatching start	32	00		V <sub>2</sub>
	Hatching complete	34	00	34~44 myotomes	

덮어 100% epiboly에 도달하였으며, 난황 위에 신경습(neural fold)이 형성되었다(Fig. 1N).

##### 5) Step V. 기관형성과정(segmentation)

Stage N. 수정 15시간 30분 후 난황 위에 유백색의 배체(blastoderm)의 형태가 나타나며, 원구가 닫힌 방향으로 꼬리가 반대편으로 머리의 형태를 갖추기 시작하였다(Fig. 1O).

Stage O. 수정 16시간 30분 후 배체가 난황과 접하는 가운데 부분에 2개의 체절이 나타났다(Fig. 1P).

Stage P. 수정 17시간 30분 후 배체의 안포가 형성되기 시작하였으며, 이 시기 체절의 수는 9개였다(Fig. 1Q).

Stage Q. 수정 18시간 30분 후 체절이 10~12개로 증가하였다(Fig. 1R).

Stage R. 수정 19시간 30분 후 배체의 안포가 명확해지고 체절의 수는 13~14개로 증가하였다(Fig. 1S).

Stage S. 수정 24시간 후 꼬리는 난황에서 분리되었으며, 꼬리 끝에 Kupffer's vesicle가 형성되었다. 난황 앞쪽에 심장이 형성,

발달함에 따라 서서히 고동하기 시작하였다(Fig. 1T).

Stage T. 수정 25시간 30분 후 안포에 렌즈(lens)가 형성되었으며, 안포 뒤쪽으로는 이포가 형성되었다. 체절은 25~29개로 증가되었다(Fig. 1U).

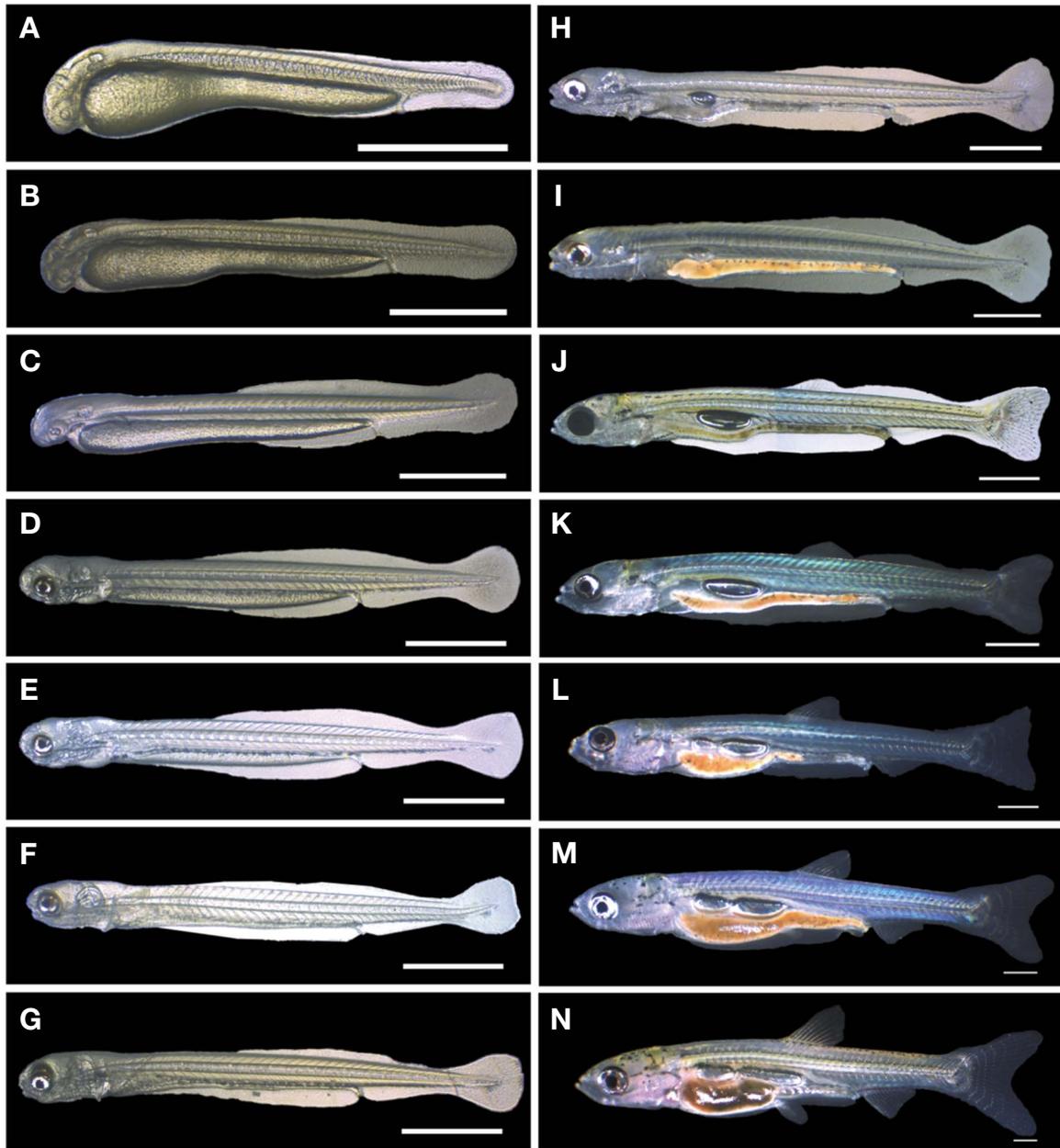
##### 6) Step VI. 부화(hatching)

Stage U. 수정 32시간 후 배체의 회전운동이 활발해졌으며 Kupffer's vesicle가 사라졌다(Fig. 1V<sub>1</sub>). 이후 배체가 난막을 꼬리 부분부터 뚫고 부화하기 시작하였고(Fig. 1V<sub>2</sub>) 수정 34시간 후 50%의 개체가 부화하였으며, 수정 38시간 모든 개체가 부화를 완료하였다.

### 3. 자어 및 치어의 형태 발달

#### 1) Step I. 난황자어기(Yolksac larva)

Stage A. 부화 직후의 자어는 전장이 3.0±0.2 mm (2.6~3.4 mm, n = 15)로 머리는 난황에 붙어 아래를 향하고 있으며, 등지



**Fig. 2.** Larva and Juvenile development of *Hemiculter leucisculus*. A~F stage is Yolksac larva; G stage is prelarva; H~J stage is flexion larva; K~M stage postflexion larva; N stage juvenile (Scale bar = 1.0 mm).

느리미, 뒷지느리미 및 꼬리지느리미는 서로 연결되어 막지느리미를 형성하였다. 꼬리에는 막지느리미와의 경계에 세포들이 조밀하게 응집되었다. 체색은 난황을 포함하여 무색 투명이었으며 몸 전체에서 흑색소포가 관찰되지 않았다. 체측에는 체절이 발달되어 있으며 개체마다 체절의 개수에서 34~44개 (n=15)로 차이를 보였다(Fig. 2A).

Stage B. 부화 후 1일째 자어의 전장은  $4.0 \pm 0.2$  mm (3.6~4.2 mm, n=15)로 입이 형성되지 않았으며, 항문은 발달되지 않았다. 꼬리는 부화 직후에 비해 가늘고 길게 신장되었다. 막지느리

미 폭이 다소 넓어졌으며, 부화 직후 뭉뚱했던 꼬리 끝은 가늘고 뾰족하게 바뀌었다. 바닥에 착저한 상태로 외부 자극에 회피성 운동만 할 뿐 활발한 유영력을 갖지는 못하였다(Fig. 2B).

Stage C. 부화 후 2일째 자어의 전장은  $4.7 \pm 0.1$  mm (4.6~4.9 mm, n=15)로 머리가 난황에서 분리되어 앞쪽을 향하게 되었다. 막지느리미의 폭은 전체적으로 넓어졌으며, 난황의 끝부분에 막지느리미가 서서히 갈라지고 얇은 소화관이 신장되어 항문이 발달되기 시작하였다(Fig. 2C).

Stage D. 부화 후 3일째의 자어의 전장은 전장  $5.3 \pm 0.1$  mm

(5.2~5.5 mm, n=15)로 눈의 테두리와 동공이 흑색소포에 의해 검게 착색되었다. 눈의 아래 입이 형성되었고, 입의 뒤쪽으로 총 5쌍의 새엽이 형성되기 시작하였다. 새엽 뒤쪽으로는 부채꼴 형태의 가슴지느러미가 형성되기 시작하였으며, 심장 윗부분을 시작으로 난황의 위쪽에서 꼬리 끝까지 방사형의 흑색소포가 1열로 줄지어 발현하였다(Fig. 2D).

Stage E. 부화 후 4일째 자어의 전장은  $5.5 \pm 0.1$  mm (5.2~5.7 mm, n=15)로 양쪽 체측을 따라 13~15쌍의 neuromasts가 발달하였다(Fig. 4). 가슴지느러미가 크게 성장하여 유영 활동에 사용되었다(Fig. 2E).

Stage F. 부화 후 5일째의 자어의 전장은  $5.7 \pm 0.2$  mm (5.3~6.3 mm, n=15)로 난황의 90% 이상이 흡수되었으며, 입과 항문이 완전히 열리게 되었고 일부 개체가 윤충(rotifer)을 섭식하기 시작하였다. 미병부의 막지느러미의 폭이 좁아지고 꼬리지느러미 줄기가 형성되기 시작하였다(Fig. 2F).

## 2) Step II. 전기자치어(Preflexion larva)

Stage G. 부화 후 6일째의 자어의 전장은  $5.7 \pm 0.1$  mm (5.4~5.8 mm, n=15)로 난황이 완전히 흡수되었고 윤충(rotifer)을 활발하게 섭식하였다. 꼬리 아래쪽 막지느러미에 방사형의 흑색소포가 형성되었다(Fig. 2G).

## 3) Step III. 중기자치어(Flexion larva)

Stage H. 부화 후 17일째 자어의 전장은  $6.8 \pm 0.2$  mm (6.5~7.0 mm, n=15)로 소화관 위쪽에 1개의 부레가 발달하였으며, 척색말단(notochord tip)이 꼬리지느러미 중앙을 벗어나 위쪽을 향하여 굴곡을 시작하였다. 이 시기 자어의 체측에 발달되었던 neuromasts가 관찰되지 않았다(Fig. 2H).

Stage I. 부화 후 22일째의 자어의 전장은  $7.1 \pm 0.1$  mm (6.7~7.4 mm, n=15)로 입이 커지고 *Artemia* sp. (brine shrimp) 유생을 섭식하기 시작하였다(Fig. 2I).

Stage J. 부화 후 27일째의 자어의 전장은  $8.6 \pm 0.5$  mm (7.9~9.6 mm, n=15)로 아래턱이 길게 신장되어 입이 전체적으로 위쪽을 향하게 되었으며, 1개의 부레가 좌우로 길게 신장되었다. 꼬리지느러미 줄기의 분화가 완료되어 정수에 도달하였다.

## 4) Step IV. 후기자치어(Postflexion larva)

Stage K. 부화 후 30일째의 자어의 전장은  $8.8 \pm 0.7$  mm (7.9~10.3 mm, n=15)로 척색말단 굴곡 완료되었다. 등 쪽 막지느러미가 일부 감소하며 등지느러미의 형태를 보이며 3~4개의 줄기가 발달하였다(Fig. 2K).

Stage L. 부화 후 35일째의 자어의 전장은  $11.4 \pm 0.7$  mm (9.7~12.3 mm, n=15)로 부레가 2개로 분할되기 시작하였다. 등 쪽의 막지느러미가 완전히 사라졌으며, 등지느러미 줄기가 정수에 도달하였다. 항문 뒤쪽의 막지느러미에는 5~8개의 줄기가 발달하기 시작하여 뒷지느러미의 형태를 보이기 시작하였다

(Fig. 2L).

Stage M. 부화 후 40일째 자어의 전장은  $14.1 \pm 0.8$  mm (12.8~15.4 mm, n=15)로 뒷지느러미가 정수에 도달하였으며, 복강 부분 막지느러미에서 배지느러미 원기가 형성되기 시작하였다. 꼬리지느러미의 흑색소포는 사라지고, 두정부와 세계부에 점 모양의 흑색소포가 나타났다(Fig. 2M).

## 5) Step V. 치어기(Juvenile)

Stage N. 부화 후 50일째의 치어의 전장은  $20.8 \pm 0.8$  mm (18.8~24.6 mm, n=15)로 2개의 부레의 분할이 완료되고 각 지느러미의 기초 수는 D: III, 9; A: III, 12; V: I, 6; C: 20로 정수에 도달하여 치어기로 이행하였다(Fig. 2N).

## 3. 자어 및 치어의 성장

자어의 성장은 로티퍼를 섭식하는 시기인 부화 후 6~21일에 비해 난황을 흡수하는 시기(부화 후 1~5일)와 *Artemia* sp. (brine shrimp)를 섭식하는 부화 후 22일 이후 높은 성장률을 보였으며, 척색말단의 굴곡이 완료된 후기자치어 이후 빠른 성장을 보였다(Fig. 3).

## 고 찰

본 연구에서는 치리의 난과 자·치어의 형태 및 발생학적 특징을 관찰하여 근연종과의 비교와 함께 치리의 초기생활사 특징을 관찰하였다. 본 연구에서는 치리가 속한 강준치아과에 속한 어류들과 비교하고자 하였으나, 잉어목(Cypriniformes) 강준치아과 어류 중 초기생활사가 명확하게 밝혀진 종이 없어 상위분류군인 잉어목 잉어아과(Cyprininae) 어류 중 치리가 주로 서식하는 호소 환경에 서식하는 잉어 *Cyprinus carpio*와 붕어 *Carassius auratus* 및 강준치아과와 유전적으로 가까우며(Huang *et al.*, 2017) 초기생활사가 비교적 명확하게 밝혀진 잉어목 꼬리아과(Opsariichthynae) 어류와 초기생활사 특징을 비교하였다.

### 1. 근연종과 난 형태 및 부화 시간 비교

어류의 번식 전략 중 산란 장소의 선택과 난의 형태 및 성질은 산란 직후와 발생 이후 수정란과 부화자치어의 생존율에 중요한 역할을 한다. 어류의 수정란은 성질에 따라 부유성 어란(Pelagic eggs)과 침성 어란(Demersal eggs)으로 구분되며(Kim *et al.*, 2011), 대부분 담수어류의 난은 침성어란으로 부착 방법에 따라 부착란과 점착란으로 구분된다(Yang *et al.*, 2000). 본 연구에서 확인된 치리의 수정란은 잉어목 잉어아과에 속한 잉어와 붕어의 수정란과 동일한 점착침성란의 형태를 보여 표층보다는 수초나 수변식물에 부착되어 발생 과정을 진행할 것으로 추측되었다. 이러한 점착침성란은 발생 기간 동안 많은 수생식물이 서식하는

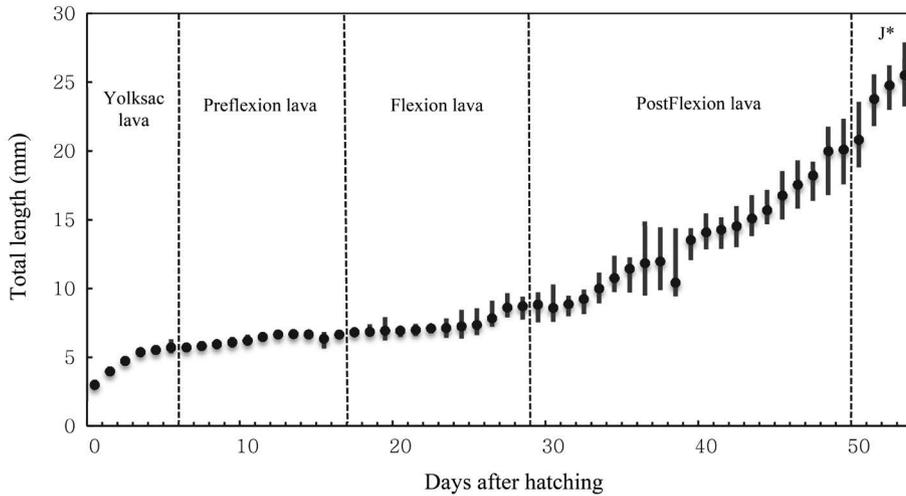


Fig. 3. Growth of larvae and juveniles after hatching in day of *Hemiculter leucisculus*. Circles and bars represent the mean and SD (J\*: Juvenile).

Table 2. Comparisons of egg developmental characteristic in Cyprinidae fishes

Species	Egg size (mm)	Time of hatching (water temp.)	Newly hatched larvae size (mm)	Juveniles size (mm)	Reference
<b>Cyprininae</b>					
<i>Cyprinus carpio</i>	1.75~1.89	70 h 26 mins (20.0°C)	5.23~5.38	21.8~22.4	Park <i>et al.</i> , 2015
<i>Carassius auratus</i>	1.49~1.63	75 h 10 mins (22.4°C)	4.12~4.32	13.87~16.35	Han <i>et al.</i> , 2001
<b>Opsariichthynae</b>					
<i>Zacco platypus</i>	1.73 ± 0.07	70 h (22.0°C)	5.40 ± 0.02	16.3 ± 0.28	Park and Han, 2017
<i>Zacco koreanus</i>	3.09 ± 0.07	68 hr (20.0~23.0°C)	10.3 ± 0.4	20.01 ± 1.12	Lee <i>et al.</i> , 2013
<i>Zacco temminckii</i>	1.92~2.20	46 hr (24.5~27.8°C)	4.90~5.28	> 17.0	Sado and Kimura, 2002
<i>Zacco sieboldii</i>	1.60~1.75	46 hr (24.0~27.6°C)	3.5~5.9	> 13.0	Sado and Kimura, 2002
<b>Cultrinae</b>					
<i>Hemiculter leucisculus</i>	0.90~1.14	34 h (22.0°C)	2.6~3.4	18.8~24.6	Present study

호소 생태계에서 수정란을 포식자로부터 보호할 수 있으며, 부화 후 자어가 포식자로부터 회피가 가능한 운동성을 갖기 전까지 수변 식물에 보호받을 수 있을 것으로 판단된다.

잉어아과에 속한 잉어 수정란의 난경은 1.75~1.89 mm, 붕어는 1.49~1.63 mm이며 꼬리아과에 속한 어류의 수정란 난경은 피라미 *Zacco platypus* 1.73 ± 0.07 mm (1.68~1.78 mm, n = 30), 갈겨니 *Z. temminckii* 1.92~2.20 mm, 일본에 서식하는 *Z. sieboldii* 1.60~1.75 mm, 참갈겨니 *Z. koreanus* 3.09 ± 0.07 mm (n = 10)로 알려져 있다(Han *et al.*, 2001; Sado and Kimura, 2002; Lee *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2015; Park and Han, 2017). 본 연구에서 확인된 치리 수정란의 난경은 0.97 ± 0.02 mm (0.9~1.0 mm, n = 30)로 같은 잉어목에 속한 어류들에 비하여 작은 것으로 확인되었다(Table 2). 어류에 있어 부화 시간은 초기 생존율과 연관된다(Kim and Zhang, 1994). 본 연구와 유사

한 수온에서 연구가 진행된 잉어아과에 속한 종들과 부화 시간을 비교하면 잉어는 평균 수온 22.4°C에서 수정에서 부화까지 75시간이 소요(Park *et al.*, 2015)되었으며, 꼬리아과에 속한 피라미는 평균 수온 22.0°C에서 70시간이 소요(Park *et al.*, 2017)된 반면 치리의 난은 수정 후 부화까지 34시간이 소요되어 다른 종에 비해 부화가 비교적 빠른 시간 내에 진행되었다. 이처럼 난의 크기는 작지만 부화가 빠르게 진행되는 치리는 많은 개체가 빠른 시간에 부화하여 자어의 생존을 높이는 방식으로 진화하여 난의 크기가 크고 늦게 부화하는 종들과 차이를 보였다. 근연종과 치리의 난 내 배체의 형태적 차이에서는 잉어의 배체는 안포가 형성되는 시기에 꼬리에 Kupper's vesicle가 형성되고, 이후 배체의 꼬리가 난황에서 분리되는 시기에 Kupper's vesicle가 사라졌으며(Park *et al.*, 2015), 붕어의 배체는 안포가 형성되는 시기에 꼬리에 Kupper's vesicle가 형성되고, 이후 안포에 렌

즈가 형성되는 시기에 꼬리에 Kupper's vesicle가 사라졌다(Han *et al.*, 2001). 반면 치리의 배체는 잉어와 붕어 비슷한 시기에 Kupper's vesicle가 나타났지만 안포에 렌즈 형성이 완료되고 꼬리가 난황에서 완전히 분리되어 배체 운동이 활발하게 진행되는 부화 직전 단계에 Kupper's vesicle가 소멸되어 치리는 Kupper's vesicle가 붕어와 잉어에 비해 비교적 늦은 발생 단계에서 사라지는 것으로 확인되었다. 꼬리아과에 속한 참갈겨니의 안포에 렌즈가 형성되는 시기 치리 난 내 배체의 체절은 25~29개가 형성되지만 참갈겨니 난 내 배체가 렌즈가 형성되는 시기에 34~40개의 체절이 형성되어(Lee *et al.*, 2013) 체절의 수에서 차이를 보였다. 또한 어란의 분류에 중요한 요인으로 알려진 흑색소포의 차이(Kim *et al.*, 2011)에서는 잉어와 붕어는 부화 전 안구, 두정부, 난황에 흑색소포가 착색되는 반면 치리는 부화전에는 흑색소포가 전혀 나타나지 않고 부화 후 난황자어기 시기에 안구에 흑색소포가 착색되어 차이가 있었다. 잉어과 어류 중 부화 시간이 3~8일 소요되는 잉어, 붕어, 점돔개 *Squalidus multimaculatus*, 돌고기 *Puntungia herzi*, 감돌고기 *Pseudopuntungia nigra*, 꾸구리 *Gobiobotia macrocephala* (Han *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2002, 2004; Ko *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2015; Park and Han, 2017; Song *et al.*, 2017)는 난 발생 과정 말기에 배체의 눈이 흑색소포로 검게 착색되는 반면 부화 시간이 1~2일로 짧은 미호종개 *Cobitis choii*, 여울마자 *Microphysogobio yaluensis*, 얼룩새코미꾸리 *Koreocobitis naktongensis*는 부화 후 자어 발달단계에서 눈에 흑색소포가 검게 착색되는 특징을 가지는 것으로 알려져 있다(Back, 1978; Song *et al.*, 2008, 2009; Hong *et al.*, 2015). 치리의 자어는 부화까지 34시간이 소요되며, 부화 후 자어의 눈이 흑색소포로 착색되어 부화 시간이 비교적 짧은 종들과 공통적인 특징을 보였다.

## 2. 근연종과의 자치어 시기의 형태 비교

잉어목 잉어과에 속한 잉어와 붕어의 부화자어는 두정부, 난황, 체측에 흑색소포가 발현된 반면 치리의 부화자어는 흑색소포가 관찰되지 않아 차이가 있으며, 이후 잉어와 붕어의 자어는 성장하며 몸 전체로 다수의 흑색소포가 발현되지만(Han *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2015) 치리의 자어는 전기자어기에서 치어기까지 두정부, 소화관 등 일부에만 흑색소포가 발현되어 흑색소포 분포에서 차이를 보였다. 잉어목 꼬리아과에 속한 피라미 부화자어는 부화 후 1일 만에 등 쪽에 흑색소포가 줄지어 발현(Park and Han, 2017)된 반면 치리의 전기자어는 등 쪽에 흑색소포가 발현되지 않았다. 이후 피라미의 자어는 척색말단이 굴곡되기 시작하면서 항문 뒤쪽 체측 중앙에 흑색소포가 발현되었으며, 성장하면서 흑색소포가 점차 새개부까지 이어진 반면 치리는 중기자어기 이후 체측 일부에 흑색소포가 흔적으로 발현되었다. 또한 피라미는 척색말단이 굴곡되는 시기부터 두정부에 흑색소포가

증가하기 시작하여 치어기까지 밀집되는 형태를 보였으나 치리는 척색말단이 굴곡이 완료되는 후기자어기 두정부에 흑색소포가 일부 발현되었으며, 치어기까지 매우 적은 수만 발현되어 차이를 보였다. 또한 참갈겨니, 갈겨니 *Z. sieboldii*의 자어는 척색 굴곡이 시작되는 전기자어기 두정부에 흑색소포가 밀집되어 발현되지만(Sado and Kimura, 2002; Lee *et al.*, 2013) 치리의 자어는 척색굴곡이 완료된 후기자어기에 두정부에 소수의 점 모양 흑색소포가 발현되어 차이를 보였다. 이후 발달단계에서 참갈겨니, 갈겨니의 자어는 두정부와 체측 중앙에 흑색소포가 더욱 밀집되어 분포하지만 치리의 자어는 두정부와 체측 중앙에 소수의 흑색소포만 분포하여 발달단계별 흑색소포의 분포에서 명확하게 구분되었다. 자치어시기 다른 외부 형질에 있어서 치리의 부화 후 4일차 자어에서는 체측에 cupulae가 관찰되었으며 부화 후 15일차 자어에서 감소하기 시작하여 부화 후 17일차 자어의 모든 개체에서 관찰되지 않았다. 일본에 서식하는 모래무지 *Pseudogobio esocinus*은 부화자어에서 cupulae가 관찰되지 않지만 전기자어기 이후 체측에 38~40개의 cupulae가 나타났으며, 후기자어기 이후 감소하기 시작하여 치어기 이후에 관찰되지 않는 것으로 확인되어(Nakajima and Onikura, 2015) 본 연구에서 관찰된 치리와 cupulae의 발달 시기는 비슷하지만 개수와 소멸시기에서 큰 차이를 보였다.

본 연구결과 치리의 자치어는 잉어목 잉어과에 속한 잉어, 붕어 및 꼬리아과 어류의 자치어와 흑색소포 분포에서 명확한 차이를 보였다. 치리가 속한 국내 강준치아과(Cultrinae)에 강준치 *Erythroculter erythropterus*, 백소어 *Culter brevicauda*, 살치는 큰 강의 하류와 호소에 서식하여 치리와 서식지를 공유하지만 이들에 대한 초기생활사의 연구가 진행되지 않아 유연관계 및 외부형태 차이를 명확하게 하기 위하여 추후 이들 종에 대한 초기생활사 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구는 충남 예당호에 서식하는 *Hemiculter leucisculus*의 초기생활사에 대하여 연구하였다. 성숙된 친어에 HCG (human chorionic gonadotropin)를 10 IU/g의 농도로 주사하여 12시간 후 성숙란을 확보하였으며, 성숙란을 습식법으로 인공 수정하였다. 수정란은 불투명한 담녹색 원형의 침성점착란으로 난경은  $0.97 \pm 0.02$  mm ( $0.9 \sim 1.0$  mm,  $n = 30$ )이었다. 수정란은 수온  $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 수정 32시간 후 수정란의 50%가 부화를 완료하였으며, 부화자어의 전장은  $3.0 \pm 0.2$  mm ( $2.6 \sim 3.4$  mm,  $n = 15$ )로 채색은 무색투명하였다. 부화 6일 후 자어는  $5.7 \pm 0.1$  mm ( $5.4 \sim 5.8$  mm,  $n = 15$ )로 입과 항문이 열리고 로티퍼를 섭식하여 전기자어기로 이행하였다. 부화 17일 후 자어는  $6.8 \pm 0.2$  mm ( $6.5 \sim 7.0$  mm,  $n = 15$ )로 척색말단이 굴곡되어 중기자어기로 이

행하였다. 부화 30일 후  $8.8 \pm 0.7$  mm (7.9~10.3 mm, n = 15)로 등지느러미 기조가 발달하기 시작하였으며, 척색말단 굴곡이 완료되어 후기자어기로 이행하였다. 부화 50일 후  $20.8 \pm 0.8$  mm (18.8~24.6 mm, n = 15)로 모든 지느러미의 기조가 정수에 도달하여 치어기로 이행하였다.

## 사 사

본 연구는 2020년도 국립수산물과학원 수산시험연구사업 내수면 수산자원 보호구역 환경 및 수산자원 연구(R2020030)의 지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Baek, Y.G. 1978. On the life history of *Microphysogobio yaluensis* (Mori). Korean J. Limnol., 11: 43-50.
- Balon, E.K. 1985. Early life histories of fishes: New developmental, ecological and evolutionary perspectives. Dr. W. Junk publisher., Dordrecht, Netherlands, 280pp.
- Basilewsky, S. 1855. Ichthyographia Chinae borealis. Nouv. Mem. Soc. Imp. Mosc., 10: 215-263.
- Blaxter, J.H.S. 1974. The early life history of fish. Spring-Verlag, Berlin, Germany, 765pp.
- Borisova, A.T. 1972. Accidental invaders in water bodies of Uzbekistan. J. Ichthyol., 12: 49-53.
- 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. 101-105.
- Chen, W., Z. Zhong, W. Dai, Q. Fan and S. He. 2017. Phylogeographic structure, cryptic speciation and demographic history of the sharpbelly (*Hemiculter leucisculus*), a freshwater habitat generalist from southern China. BMC Evol. Biol., 17: 216. <https://doi.org/10.1186/s12862-017-1058-0>.
- Chen, Y.Y., X.L. Chu, Y.L. Luo, Y.R. Chen, H.Z. Liu, M.J. He, W. Chen, P.Q. Yue, S.P. He and R.D. Lin. 1998. Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes II. Science press, Beijing, China, 531pp.
- Cho, H.G., B.J. Kim and Y. Choi. 2012. *Hemiculter eigenmanni* (Jordan and Metz, 1913), a junior synonym of *H. leucisculus* (Basilewsky, 1855) (Cypriniformes: Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 24: 287-291.
- Coad, B.W. 1981. Fishes of Afghanistan, an annotated checklist. Publ. Zool., 14: 1-26.
- Dai, Y.G. and J. Yang. 2003. Phylogeny and zoogeography of the cyprinid Hemicultrine group (Cyprinidae: Cultrinae). Zool. Stud., 42: 73-92.
- Dong, X., T. Ju, G. Grenouillet, P. Laffaille, S. Lek and J. Liu. 2020. Spatial pattern and determinants of global invasion risk of an invasive species, sharpbelly *Hemiculter leucisculus* (Basilewsky, 1855). Sci. Total Environ., 711: 134-661. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134661>.
- Esmaceli, H.R. and A. Gholamifard. 2011. Range extension and translocation for *Hemiculter leucisculus* (Basilewsky, 1855) (Cyprinidae) in western and northwestern Iran. J. Appl. Ichthyol., 27: 1394-1395. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01813.x>.
- Han, J.H., E.H. Lee and G.A. Kwang. 2009. Analysis of fish compositions and ecological indicator characteristic in Masan Reservoir. Korean J. Environ. Ecol., 42: 212-220.
- Han, K.H., D.S. Jin, D.J. Yoo, D.J. Yoo, S.R. Baek and D.S. Hwang. 2001. The early life history of the Crucian carp, *Carassius auratus* in Korea. J. Inst. Sci. Yosu Natl. Univ., 16: 379-387.
- 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.
- Huang, S.P., F.Y. Wang and T.Y. Wang. 2017. Molecular phylogeny of the *Opsariichthys* group (Teleostei: Cypriniformes) based on complete mitochondrial genomes. Zool. Stud., 56: 40. <https://doi.org/10.6620/ZS.2017.56-40>.
- Huang, Y. and Y. Zeng. 2016. Sexual dimorphism in the Chinese white fish *Hemiculter leucisculus*. Pakistan J. Zool., 48: 1595-1595.
- Kim, E.B. and Y.G. Kim. 1984. Studies on the morphological characteristics and life history of the chili Fish, *Cultricus eigenmanni* (Jordan et Metz). Korean J. Fish. Aquat. Sci., 47: 72-78.
- Kim, I.S. and C.Y. Lee. 1986. Scientific name and identification of two species of genus *Hemiculter* (Cyprinidae) in Korea. Korean J. Limnol., 19: 11-17.
- 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, pp. 6-19.
- Kim, M.J., J.S. Lee and S.C. Song. 2014. Molecular phylogenetic status of Korean *Hemiculter* Species. Korea. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 47: 72-78. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0072>.
- Kim, S. and C.I. Zhang. 1994. Fish Ecology. Seoul Press, Seoul, Korea, pp. 159-161.
- Kim, S.K., Y.H. Kang, G.B. Hong, D.U. Yoo, H.Y. Suk, B.S. Chae, H.S. Kim and U.W. Hwang. 2011. Ichthyofauna and community structure from 21 lakes in the Yeungnam area including Gyeongsangbuk-do and Gyeongsangnam-do Provinces, Korea. Korean J. Ichthyol., 23: 288-299.
- Ko, M.H., W.J. Kim, S.Y. Park and I.C. Bang. 2011. Egg development and early life history of the endangered species *Gobiobotia macrocephala* (Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 23: 196-205.
- Lee, C.L. 1992. The variations of the fish community after dam construction of the Keum River estuary. Korean J. Limnol., 25:

- 193-204.
- Lee, C.L. and Y.H. Kim. 2002. Ichthyofauna and structure of the fish community in Jinyang Lake on the Nam River. Korean J. Ichthyol., 24: 287-291.
- Lee, E.H., K.H. Chang, D.I. Seo, J.Y. Choi, G.J. Joo, M. Kim, J.H. Shin, M. Son and G.S. Nam. 2014. The characteristics of fish community and food web in eutrophicated agricultural reservoir, Jeondae. Kor. J. Environ. Biol., 32: 319-326.
- Lee, S.H., K.H. Han and D.S. Hwang. 2002. The early life history and spawning behavior of the *Puntungia herzi*. J. Inst. Sci. Yosu 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 *Pseudopuntungia 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* (Pisces: Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 25: 200-207.
- Nakajima, J. and N. Onikura. 2015. Larval and juvenile development of pike gudgeon, *Pseudogobio esocinus* (Cyprinidae: Gobiominae). Ichthyol. Res., 62: 268-273. <https://doi.org/10.1007/s10228-014-0436-5>.
- Nitta, M., K. Kawai and K. Nagasawa. 2017. First Japanese record of the sharpbelly *Hemiculter leucisculus* (Basilewsky, 1855) (Cypriniformes: Cyprinidae) from Okayama Prefecture, western Honshu. Biogeography, 19: 17-20.
- Okiyama, M. 2014. An atlas of the early stage fishes in Japan. Tokai Univ. Press, Kanagawa, Japan, pp. 25-43.
- Park, J.M. and K.H. Han. 2017. Eggs development and early life history of pale chub, *Zacco platypus* from Wicheon. Korean J. Ichthyol., 29: 190-196.
- Park, J.M., M.J. Seong, H.S. Yim and K.H. Han. 2015. Egg development and larvae and juveniles morphology of carp, *Cyprinus carpio* in Korean. Dev. Reprod., 19: 119-126.
- Russell, F.S. 1976. The eggs and planktonic stages of British marine fishes. Academic Press, London, U.K., pp. 22-29.
- 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.
- Smith, K.G., V. Barrios, W.R.T. Darwall and C. Numa. 2014. The status and distribution of freshwater biodiversity in the eastern Mediterranean. IUCN: Cambridge, UK, Malaga, Spain and Gland, Switzerland. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2014.01.en>.
- Song, H.Y., H. Yang, E.M. Jo, H.C. Sin and I.C. Bang. 2009. Morphological development of egg and larvae of *Koreocobitis nakdongensis* (Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 21: 247-252.
- 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* (Gobiominae). Korean J. Ichthyol., 29: 52-61.
- Song, H.Y., W.J. Kim, W.O. Lee and I.C. Bang. 2008. Morphological development of egg and larvae of *Iksookimia choii* (Cobitidae). Korean J. Limnol., 41: 104110.
- Tarkan, A.S., L. Vilizzi, N. Top, F.G. Ekmekçi, P.D. Stebbing and G.H. Copp. 2017. Identification of potentially invasive freshwater fishes, including translocated species, in Turkey using the Aquatic Species Invasiveness Screening Kit. Int. Rev. Hydrobiol., 102: 47-56. <https://doi.org/10.1002/iroh.201601877>.
- Uchida, K. 1939. The fishes of Tyosen. Part I. Nematognathi, Even-tognathi. Bulletin of the fisheries experiment station of the government-general of Tyosen 6, Busan, Korea, 458pp.
- Wang, T., D. Huang, Y. Zhao, H.S. Wang, S.D. Hu and J.Z. Shen. 2013. Age, growth and mortality of invasive sharpbelly, *Hemiculter leucisculus* (Basilewsky, 1855) in Erhai Lake, China. J. Appl. Ichthyol., 29: 1279-1285.
- Wang, T., I. Jakovlic, D. Huang, J.G. Wang and J.Z. Shen. 2016. Reproductive strategy of the invasive sharpbelly, *Hemiculter leucisculus* (Basilewsky 1855), in Erhai Lake, China. J. Appl. Ichthyol., 32: 324-331. <https://doi.org/10.1111/jai.13001>.
- Yabumoto, Y., Y. Sakamoto and L. Huanzhang. 2008. Osteology of the cyprinid fish, *Hemiculter leucisculus*. Bull. Kitakyushu Mus. Nat. Hum. Hist. Ser. A, 6: 33-48.
- Yang, H.J., U.K. Kim, I.S. Kim and T.H. Hyung. 2000. Fish terminology. Jungshaeng Publ. Co., Seoul, Korea, 73pp.