

몰개(*Squalidus japonicus coreanus*)의 난 발생 및 자치어의 형태 발달

김경무 · 광영호 · 김승용 · 송하윤*

국립수산과학원 중앙내수면연구소

Morphological Development of Egg and Larvae of *Squalidus japonicus coreanus* (Gobioninae) by Kyeong-Mu Kim, Yeong-Ho Kwak, Seung-Yong Kim 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 short barbel gudgeon *Squalidus japonicus coreanus* were investigated. For the experiments, the mature adults were collected at the stream Jicheon in Korea. The eggs from the females were obtain by injecting 10 IU/g of human chorionic gonadotropin and inseminated by wet method in the laboratory. The fertilized eggs were 1.12 ± 0.03 mm (1.10~1.16 mm, n=30) in diameter. The embryo began to hatch about 49 hrs after fertilization under water temperature of $23 \pm 1^\circ\text{C}$. The newly-hatched larvae (Yolksac larva) were 3.7 ± 0.1 mm (3.4~3.8 mm, n=16) in total length, and they haven't Melanophore. 5 days after hatching, the Preflexion larva were 5.3 ± 0.2 mm (5.0~5.5 mm, n=16) in total length, and they began to eat a Rotifer. 19 days after hatching, the Flexion larva were 6.0 ± 0.3 mm (5.4~6.5 mm, n=16) in total length, and they began to eat a Brine shrimp. 29 days after hatching, the Postflexion larva were 9.6 ± 0.5 mm (8.3~10.5 mm, n=16) in total length, and dorsal fin rays are were formed. 44 days after hatching, the juvenile were 15.5 ± 1.0 mm (13.5~17.0 mm, n=16) in total length, and all their fin-rays were formed.

Key words: *Squalidus japonicus coreanus*, egg development, early life history

서 론

몰개속(genus *Squalidus*) 어류는 잉어목(Cypriniformes) 모래무지아과(Gobionidae)에 속하는 소형 담수어류로 전 세계에 5종 및 17아종이 보고되어 있다(Nelson, 2016). 우리나라 서식하는 몰개속 어류는 긴몰개(*Squalidus gracilis majimae*), 몰개(*Squalidus japonicus coreanus*), 참몰개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*), 점몰개(*Squalidus multimaculatus*) 4종으로 모두 고유종 및 아종이다(Chae *et al.*, 2019). 긴몰개, 참몰개, 몰개는 서해와 남해로 흐르는 하천에 분포하며, 점몰개는 동해로 흐르는 일부 하천에 서식하는 것으로 알려져 있었으나(Kim and Lee,

1984), 최근 인위적인 도입으로 인해(Jeon *et al.*, 2018; Chae *et al.*, 2019) 이들의 서식지에 대한 구분은 흐려지고 있다.

국내 서식하는 몰개속 4종은 형태적으로 유사하지만 측선 상부 비늘 수(Transverse row above LLs)와 안경에 대한 입수염 길이의 비 등에서 차이가 나는 것으로 알려져 있으며, 이들 중 몰개속을 대표하는 몰개의 측선상부비늘 수는 $4\frac{1}{2}$ 개이며, 입수염은 안경 길이에 비해 짧아 다른 3종과 형태적으로 차이를 보인다(Kim and Lee, 1984).

몰개는 과거 Berg (1906)에 의해 경상도 지역에서 채집된 표본이 *Leucogobio coreanus*로 기재되었으며, Uchida (1939)는 몰개를 *Gnathopogon*속으로 분류하였다. 이후 Banarescu and Nalbant (1973)는 모래무지아과의 분류학적 재검토를 통하여 몰개속 어류에 *Squalidus*속명을 사용하고, 한국과 일본에 서식하는 *Squalidus japonicus*가 입수염의 길이와 입의 형태의 차이를 확인하여 한국에 서식하는 *S. japonicus*을 *Squalidus japonicus*

저자 직위: 김경무(연구원), 광영호(박사 후 인턴연구원), 김승용(석사 후 인턴연구원), 송하윤(해양수산연구소)

*Corresponding author: Ha-Yun Song Tel: 82-31-589-5180, Fax: 31-589-5151, E-mail: fish8607@korea.kr

coreanus로 일본의 집단을 *Squalidus japonicus japonicus*로 아종 수준으로 구분하였다. 또한 Kim and Lee (1984)는 한국산 물개속 어류의 분류학적 검토를 통하여 *Squalidus japonicus coreanus*를 *Gnathopogon*와 명확히 구분하였다. 이후 Byeon (2012)은 남한 강에 서식하는 물개의 서식지 환경, 성숙, 연령, 포란수 및 산란 시기, 식성 등을 확인하여 물개에 대한 분류 및 생태학적 연구가 진행된 바 있다.

어류는 알에서 부화하여 성어의 특징을 가지는 치어기 전까지 각 단계별로 종의 고유적인 형질이 발현된다. 형태가 유사한 종 사이에서도 단계별 이행 시기에서 차이를 보이는 것으로 알려져 있으며(Kim *et al.*, 2011), 이러한 특징은 형태가 명확하게 확인되는 치어기 이전의 단계에서 종 동정에 유용한 형질이 된다.

담수어류의 초기생활사에 관한 연구에는 멸종 위기종 및 상업적으로 중요한 종(Lee, 1998; Song, 2008, 2009; Ko, 2011)을 제외한 많은 종의 난과 자치어 시기의 형태가 밝혀지지 않았다. 어류의 난 발생과 발달 단계별 종의 고유 형질은 종 분류를 위한 분류학적 기준으로 활용이 가능하지만(Blaxter, 1974; Balon, 1985), 우리나라에 분포하는 물개속 어류들에 대한 초기생활사 연구는 긴물개의 난 발생에 관한 연구(Park *et al.*, 2005), 점물개의 난 발생 및 자치어의 형태 발달에 대한(Song *et al.*, 2017) 연구만 진행되었다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 고유종인 물개의 인공수정을 통하여 난의 형태와 발생 과정, 이후 자치어의 성장 과정과 성장 단계별 형태를 상세하게 기록하여 근연 종들과의 형태학적 비교와 분류와 종 보전에 기초가 되는 초기생활사를 규명하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험어 확보

본 연구에 사용한 물개 성어는 2019년 5월 충청남도 부여군 규암면 일대의 지천에서 족대(망목 4×4 mm)를 이용하여 채집한 암컷 30개체, 수컷 30개체를 실험실에서 옮겨 수온 23±1°C로 사육 관리하였다.

2. 친어의 산란 유도 및 관리

실험실로 운반한 개체 중 육안으로 산란공에 성숙란이 보이는 암컷 개체들을 선별하여 HCG (human chorionic gonadotropin) 호르몬을 10 IU/g의 농도로 암컷 개체의 복강에 주사한 뒤, 10시간 경과 후 복부를 압박하여 성숙란을 채란하여 수컷의 정액과 습식법으로 인공수정하였다. 수정란은 직경 15 cm Petri dish에 수정란을 분산 수용하여 수온 23±1°C로 유지 및 관리하였다. 부화자의 사육은 난황 흡수가 95% 이상 되는 부화 5일부터 사각 수조(400×200×150 mm)로 옮겨 성장 단계에 따라

윤충류(rotifer), *Artemia* sp. (brine shrimp) 유생, 미립자 배합사료를 순차적으로 공급하였다. 사육 용수는 매일 오전과 오후에 1/2씩 환수하였다.

3. 난 발생 및 자치어 관찰

물개 수정란은 점착성을 가지는 특징이 있어 난 발생 과정을 관찰하기 위해 Song *et al.* (2020)을 따라 Proteinase K (GeneAll, Korea) 10 mL 수용액을 사용하여 난 표면의 점착성 물질을 제거 및 관찰이 용이하게 하였으며, 이후 해부현미경(SZH-10, Olympus Co., Japan)의 10~50배율로 관찰하였다. 난 발생 과정의 단계 표기와 용어는 이전에 선행된 물개속 어류 난 발생 연구(Park *et al.*, 2005; Song *et al.*, 2017)와 Kim *et al.* (2011)을 참고하였으며, 성장단계에 따른 자치어의 형태 발달과정은 부화 직후부터 부화 후 46일까지 마취제(MS-222, Tricaine methanesulfonate; Sindel Co., Canada)를 사용하여 마취한 후 1일 16개체의 전장을 측정하였다.

결 과

1. 수정란의 형태, 특성 및 난 발생

1) Step I. 난 팽창 및 동물극으로 세포질 응집(zygote)

Stage A. 물개 성숙란은 원형으로 난경이 0.92±0.03 mm (0.87~0.98 mm, n=30)으로 확인되었으며, 수정란은 불투명한 침성점착란으로 강한 점성을 띄었다. 수정란의 세포질에 유구(Oil droplets)는 존재하지 않았으며, 수정 후 수분을 흡수하기 시작하여 수정 후 10분 이내로 난황과 위란강(perivitelline space)이 뚜렷하게 분리되었고 수정란의 난경은 1.12±0.03 mm (1.10~1.16 mm, n=30)였다(Fig. 1A).

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

2) Step II. 난할과정(cleavage)

Stage C. 수정 후 1시간에 배반의 중앙이 이등분되어 2세포기로 이행하였다(Fig. 1C).

Stage D. 수정 후 1시간 10분에 2세포기의 할구가 이등분되며 4세포기에 도달하였다(Fig. 1D).

Stage E. 수정 후 1시간 20분을 전후하여 8세포기로 이행하였다(Fig. 1E).

Stage F. 수정 후 1시간 40분에는 할구 수가 더 증가하여 16세포기에 도달하였다(Fig. 1F).

Stage G. 수정 후 1시간 50분에 32세포기로 이행하였다(Fig. 1G).

Stage H. 수정 후 2시간을 전후하여 64세포기에 도달하였으며, 할구가 작아지고 조밀하게 응집되었다(Fig. 1H).

3) Step III. 포배형성과정(blastula)

Stage I. 수정 후 2시간 20분 후 할구의 크기가 더욱 작아지고, 세포의 수가 증가하며 상실배(morula)를 형성하였다(Fig. 1I).

Stage J. 수정 후 3시간 10분을 전후하여 배반이 내려와 반구를 형성하여 포배기(blastula)에 도달하였다(Fig. 1J).

4) Step IV. 낭배형성과정(gastrula)

Stage K. 수정 후 4시간 50분을 전후하여 배반이 아래쪽으로 확장되어 난황의 1/3을 덮게 되었으며, 배반의 가장자리가 점차 증가하여 식물극을 덮는 피복현상(epiboly)이 유지되어 30% epiboly 시기에 도달하였다(Fig. 1K).

Stage L. 수정 후 6시간 20분을 전후하여 피복현상이 식물극 쪽으로 확장되며 배반이 난황의 1/2을 덮어 50% epiboly 시기가 되고, 배환(germ ring)이 최대로 확장되었다(Fig. 1L).

Stage M. 수정 후 8시간 50분을 전후하여 배반이 난황의 대부분을 덮어 90% epiboly 시기에 도달하였다(Fig. 1M).

Stage N. 수정 후 약 9시간 50분을 전후하여 100% epiboly에 도달하였으며, 신경습(neural fold)이 난황 위에 형성되었다(Fig. 1N).

Stage O. 수정 후 약 10시간 50분을 전후하여 유백색의 배체(blastoderm)가 얇게 나타났다(Fig. 1O).

5) Step V. 기관형성과정(segmentation)

Stage P. 수정 후 14시간을 전후하여 배체의 형태가 뚜렷하게 나타나며, 머리에 안포(optic vesicles)가 형성되었고 근절 수는 5~6개가 형성되었다(Fig. 1P).

Stage Q. 수정 후 15시간을 전후하여 배체의 안포가 명확해졌으며, 근절 수는 8~10개가 형성되었다(Fig. 1Q).

Stage R. 수정 후 23시간을 전후하여 꼬리에 Kupper's vesicle가 형성되었으며, 근절 수는 18~19개였다(Fig. 1R).

Stage S. 수정 후 25시간을 전후하여 안포 뒤쪽으로 이포(adyutory vesicle)가 형성되고 난황이 원추형으로 연장되어 변형됨에 따라 꼬리가 난황으로부터 떨어져 신장되기 시작하였다. 이 시기 근절 수는 25~26개였다(Fig. 1S).

Stage T. 수정 후 26시간을 전후하여 안포에 렌즈가 형성되고

Table 1. Time required for embryonic stages of *Squalidus japonicus coreanus* at 23 ± 1°C

Stage	Elasped		Characters	Fig. 1	
	Hrs	Min			
Zygote period	Insemination	00	00		
	Swelling	00	00	A	
	Blastodisc	00	15	B	
Cell cleave period	2 cells	01	00	2 blastodisc is cleavage	C
	4 cells	01	10	2 × 2 array of blastomeres	D
	8 cells	01	20	2 × 4 array of blastomeres	E
	16 cells	01	40	4 × 4 array of blastomeres	F
	32 cells	01	50	4 × 8 array of blastomeres	G
	64 cells	02	00	8 × 8 array of blastomeres	H
Blastula period	Morula	2	20		I
	Blastula	03	10		J
Gastrula period	Early gastrulation	04	50	30% epiboly	K
	Middle gastrulation	06	20	50% epiboly	L
	Late gastrulation	08	50	90% epiboly	M
Embryonic period	Formation of the embryo	10	50		O
	5~6 myotomes	14	00	Formation of optic vesicles	P
	8~9 myotomes	15	00		Q
	18~20 myotomes	23	00	Formation of Kupper's vesicles	R
	25~26 myotomes	25	00	Tail begin to extend	S
Hatching period	Hatching start	46	00		
	Hatching complete	49	00		U

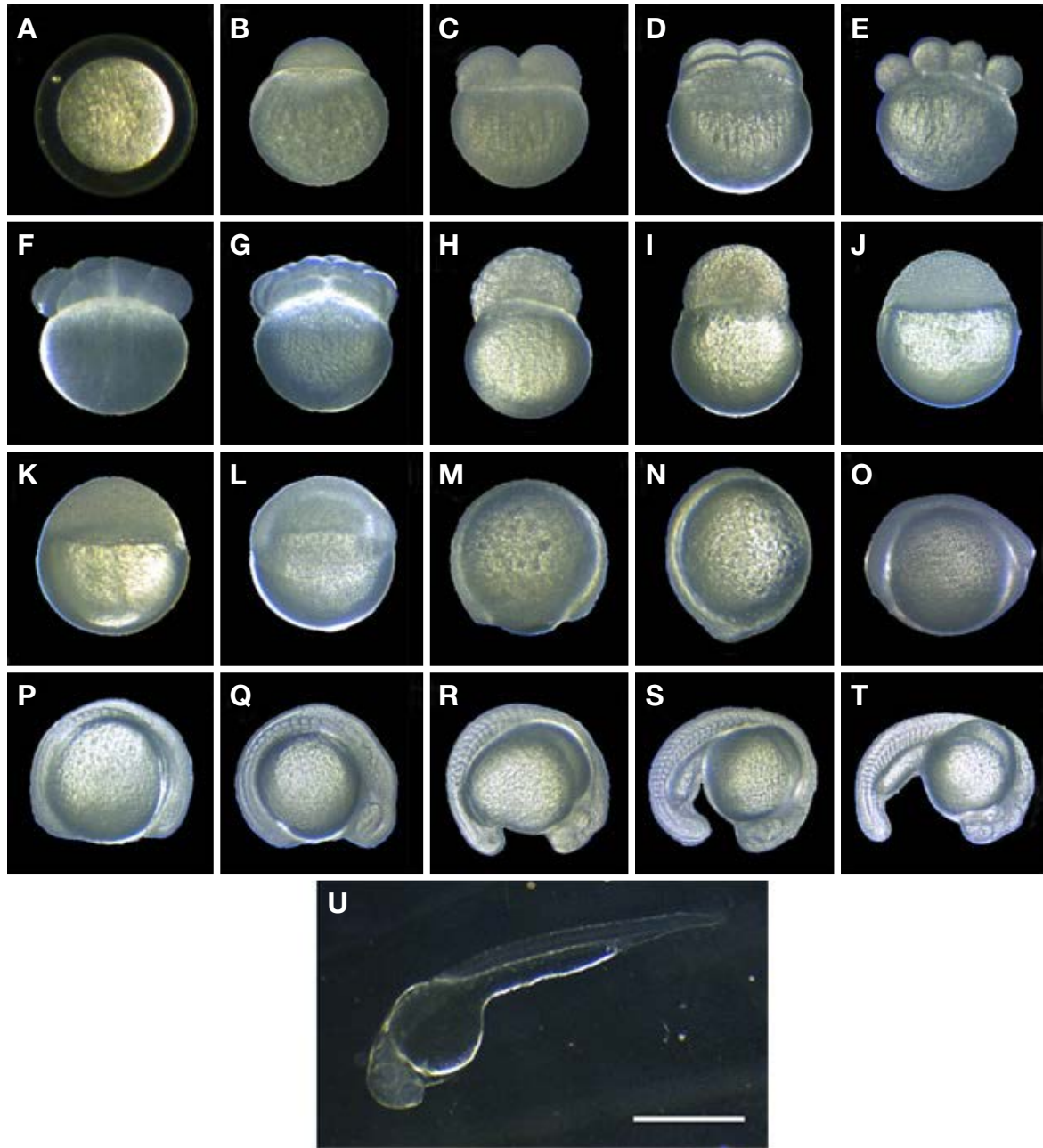


Fig. 1. Egg development of *Squalidus japonicus coreanus*. A~H stage is views are shown during early cleavage stages. I, J stage is views are shown during early blastula stages. K~O stage is views are shown during early gastrula stages. P~T stage is views are shown during segmentation stages. Face views are shown during cleavage and blastula stage. U stage is hatching larva, 49 hr after fertilization (Scale bar = 1.0 mm).

꼬리에 Kupper's vesicle가 소멸되었다(Fig. 1T).

6) Step VI. 부화(hatching)

Stage V. 수정 후 46시간을 전후하여 배체의 꼬리부터 난막을 뚫고 부화하기 시작하였고, 수정 후 49시간을 전후하여 전체 개체 중 50% 이상 부화가 완료되었다. 부화 직후의 자어는 전장이 3.7 ± 0.1 mm ($3.4 \sim 3.8$ mm, n = 16)로 몸 전체에 흑색소포가

관찰되지 않았으며, 이때 부화자어의 근절 수는 34~37개였다(Fig. 1U).

2. 자치어의 형태 발달

1) Step I. 난황자어기(yolksac larva)

Stage A. 부화 후 1일째의 자어는 전장 4.1 ± 0.2 mm ($3.6 \sim 4.5$ mm, n = 16) (Fig. 4)로 눈은 흑색소포에 의해 검게 착색되었으

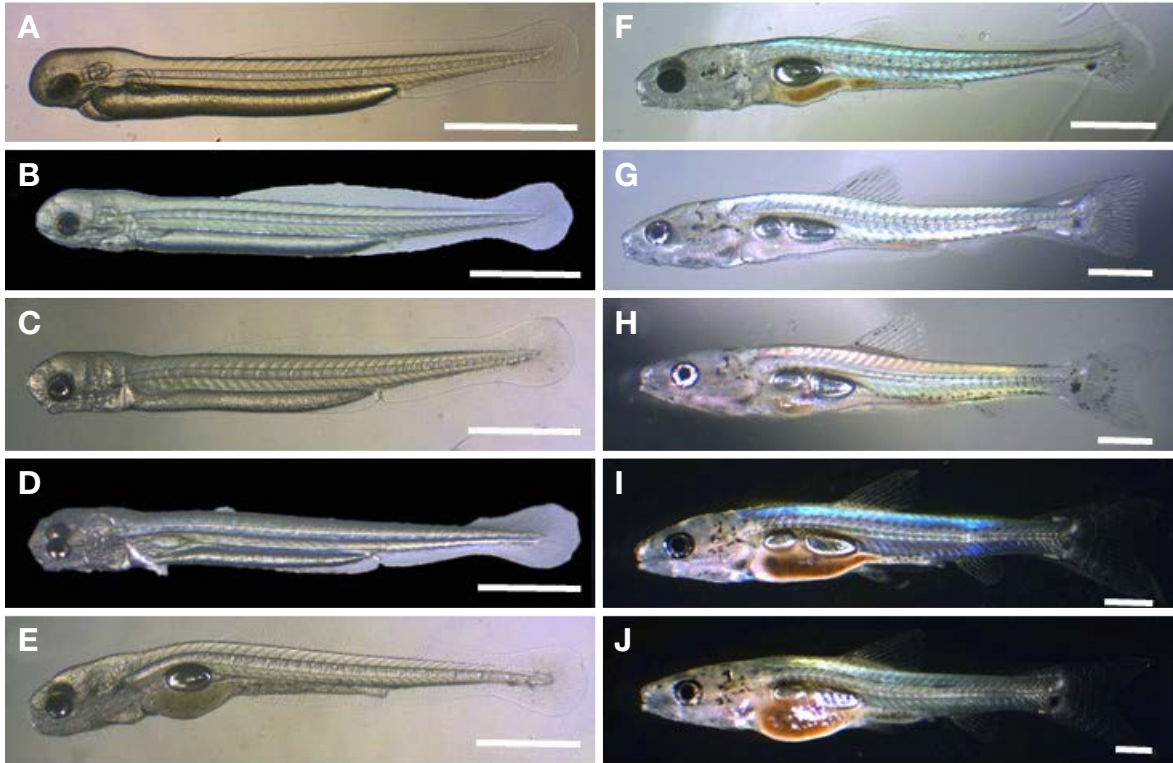


Fig. 2. Larval development of *Squalidus japonicus coreanus*. A~D stage is Yolksac larva; E stage is prelarva; F stage is flexion larva; G~I stage postflexion larva; J stage juvenile (Scale bar = 1.0 mm).

며, 눈 아래쪽으로 입이 형성되기 시작하였다(Fig. 2A).

Stage B. 부화 후 2일째의 자어는 전장 4.9 ± 0.1 mm ($4.6 \sim 5.1$ mm, $n = 16$)로 눈에 검은색 색소포가 더욱 진하게 착색되기 시작하였으며 부채꼴 모양의 가슴지느러미가 가로로 길게 신장되었다. 막지느러미가 발달하여 부화자어에 비해 막지느러미의 폭이 다소 증가하였다(Fig. 2B). 이 시기 자어의 cupulae (cupula)가 출현하기 시작하여 머리는 눈 뒤 아가미 덮개 부분에 1~2쌍, 몸 측면은 가슴지느러미 뒤쪽부터 난황 끝부분까지 6~7쌍이 형성되어 관찰되었다(Fig. 3A).

Stage C. 부화 후 3일째의 자어는 전장 5.1 ± 0.1 mm ($4.8 \sim 5.4$ mm, $n = 16$)로 앞이 앞으로 돌출되었으며, 소화관 끝이 막지느러미 밖으로 신장되었다(Fig. 2C). 몸 측면의 cupulae는 미병부 끝까지 발생되어 12~14쌍이 관찰되었다(Fig. 3B).

Stage D. 부화 후 4일째의 자어는 전장 평균 5.2 ± 0.2 mm ($4.8 \sim 5.5$ mm, $n = 16$)로 소화관 위쪽으로 부레가 형성되기 시작하였고 수직으로 아래를 향하던 소화관 끝이 45°로 기울어졌다. 자어는 이 시기부터 가슴지느러미를 사용해 수영하기 시작하였다(Fig. 2D).

2) Step II. 전기자어기(preflexion larva)

Stage E. 부화 후 5일째의 자어는 5.3 ± 0.2 mm ($5.0 \sim 5.5$ mm,

$n = 16$)로 난황 흡수가 완료되고 입이 열렸으며, 윤충류를 활발하게 섭식하였다. 소화관 위쪽으로 타원형의 부레가 길게 신장되었고 척추골은 부레에 의해 위쪽으로 굴곡지게 되었다(Fig. 2E). 이 시기 부화자어의 cupulae의 발달이 증가하여 머리는 입 주변으로 5쌍, 눈에서부터 아가미까지 7~8쌍이 관찰되어 머리에 총 12~13쌍이 관찰되었다(Fig. 3C-1). 몸 측면은 12~14쌍이 나타났으며, 다소 비대칭적으로 나타났다(Fig. 3C). 이후, 부화 후 15일까지 자어의 cupulae는 증가하지 않았다(Fig. 3D, 3D-1).

3) Step III. 중기자어기(flexion larva)

Stage F. 부화 후 19일째의 자어는 6.0 ± 0.3 mm ($5.4 \sim 6.5$ mm, $n = 16$)로 척삭 말단의 굴곡이 진행되기 시작하였다. 등쪽 막지느러미는 사라지기 시작하였으며 꼬리 쪽에 기조가 발달하기 시작하였다. 꼬리 끝에는 1개의 진한 흑색소포가 발현되었다. 크기가 성장함에 따라 brine shrimp (*Artemia* sp.)유생과 배합사료의 섭식이 가능해졌다(Fig. 2F). 부화 후 20일이 경과한 중기 자어는 머리에 분포하는 cupulae의 수가 늘어나 입 주변과 입 아래 및 아가미 덮개 주변으로 나타났으며, 자어의 머리위에서 관찰된 cupulae 수는 11~15쌍이 관찰되었다. 몸 측면 또한 19~22쌍이 관찰되었다(Fig. 4E).

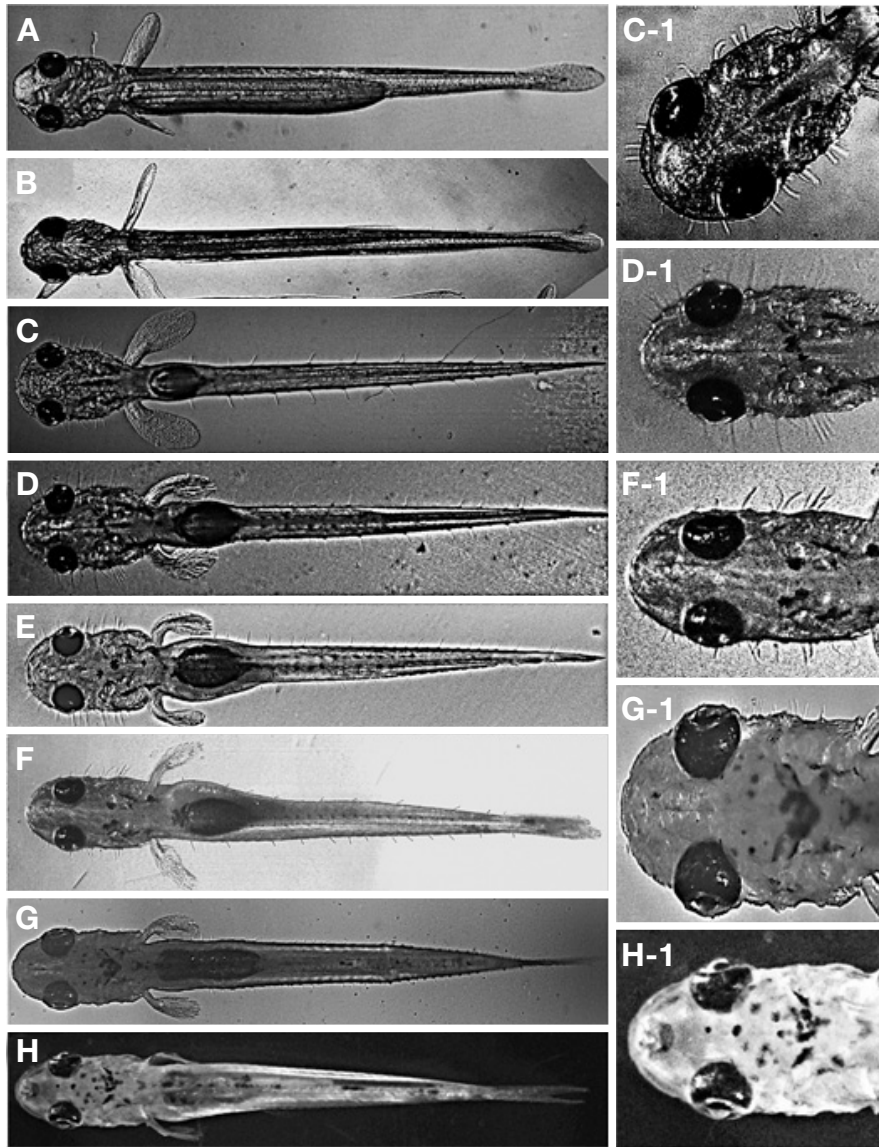


Fig. 3. Dorsal view of rod-like cupulae appearing in larvae of *Squalidus japonicus coreanus*. (A) yolk sac larva, 2 days after hatching (TL, 4.6~5.1 mm), (B) yolk sac larva, 3 days after hatching (TL, 4.8~5.4 mm), (C, C-1) pre-larva, 5 days after hatching (TL, 5.0~5.5 mm), (D, D-1) pre-larva, 15 days after hatching (TL, 5.2~6.6 mm), (E) flexion larva, 20 days after hatching (TL, 5.7~6.6 mm), (F, F-1) postflexion larva, 25 days after hatching (TL, 7.7~8.4 mm), (G, G-1) postflexion larva, 35 days after hatching (TL, 9.5~11.1 mm), (H, H-1) postflexion larva, 40 days after hatching (TL, 11.5~13.9 mm).

4) Step IV. 후기자치어(postflexion larva)

Stage G. 부화 후 24일째의 자어는 7.6±0.5 mm (6.9~8.6 mm, n=16)로 척삭의 굴곡이 완료되었다. 1개의 부레가 2개로 나누어졌으며, 등지느러미에 기초가 형성되었으며, 꼬리지느러미는 정수에 도달하여 상엽과 하엽으로 구분되었다(Fig. 2G). 부화 후 25일이 경과한 후기자치어는 머리에 비해 몸 측면에 분포하는 cupulae 길이가 상대적으로 짧아지기 시작하였다(Fig. 3F, 3F-1).

Stage H. 부화 후 29일째의 자어는 전장 9.6±0.5 mm (8.3~10.5 mm, n=16)로 등지느러미 및 뒷지느러미 기초가 정수에 도

달하였으며 앞쪽 기초(1~3)에 흑색소포가 발현되었다. 소화관 위쪽부터 미병부까지 흑색소포가 선명하게 발현되었다(Fig. 2H).

Stage I. 부화 후 35일째의 자어는 전장 10.9±0.5 mm (9.5~11.6 mm, n=16)로 항문 앞쪽 마지막으로 남아있던 막지느러미에 배지느러미가 발달하기 시작하였다(Fig. 2I). 이시기 자어의 머리와 몸 측면에 분포하는 cupulae는 성장함에 따라 짧게 축소되었다. Cupulae는 머리의 경우 아가미 덮개 주변에 5~8쌍이 관찰되었고(Fig. 3G-1) 몸 측면에는 30~34개가 관찰되어 개체 간 차이가 있었다(Fig. 3G). 부화 후 40일 후 모든 개체에서 cupulae가 관찰되지 않았다(Fig. 3H, 3H-1).

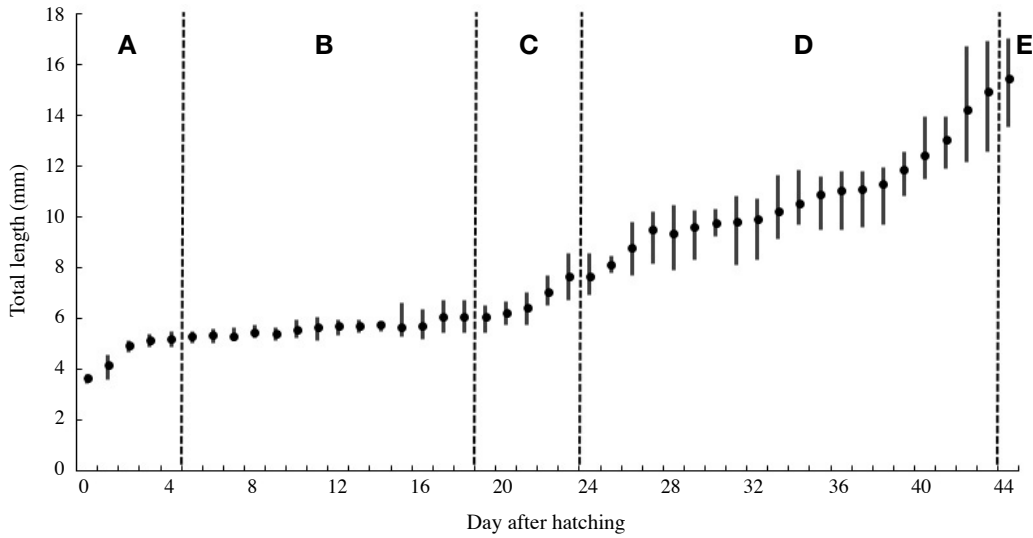


Fig. 4. Growth of larvae and juveniles after hatching in day of *Squalidus japonicus coreanus*. Circles and bars represent the mean and SD (A: yolksac larva stage, B: prelarva stage, C: flexion larva stage, D: postflexion larva stage, E: juvenile stage).

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
<i>Gnathopogon</i>					
<i>Gnathopogon strigatus</i>	1.76 mm (1.66~1.88 mm)	57 h (23 ± 1°C)	4.4 mm (4.1~4.7 mm)	13.3 mm (11.3~15.5 mm)	Kim <i>et al.</i> , 2019
<i>Squalidus</i>					
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	2.9 mm	(26 ± 1.5°C)	3.3 mm	—	Park <i>et al.</i> , 2005
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	1.12 mm (1.10~1.16 mm)	(23 ± 1°C)	3.7 mm (3.4~3.8 mm)	15.5 ± 1.0 mm (13.5~17.0 mm)	Present study
<i>Squalidus multimaculatus</i>	0.8 mm (0.8~0.9 mm)	(24 ± 1°C)	2.8 mm (2.5~3.1 mm)		Song <i>et al.</i> , 2017

5) Step V. 치어기 (juvenile)

Stage J. 부화 후 44일째의 자어는 전장 15.5 ± 1.0 mm (13.5~17.0 mm, n=16)로 배지느러미가 정수에 도달하였으며, 각 지느러미의 기초 수는 D: III, 9; A: III, 12; V: I, 6; C: 20으로 치어기로 이행하였다(Fig. 2J).

고찰

본 연구는 우리나라 고유종 물개(*S. japonicus coreanus*)의 초기생활사를 처음으로 확인하였으며, 이전에 연구된 근연종들과 초기생활사를 비교하였다.

1. 근연종과 난 형태 및 부화 시간 비교

잉어목에 속하는 어류 중 침성점착란의 형태를 띠는 잉어

(*Cyprinus carpio*)와 붕어(*Carassius carassius*)는 난을 수초에 부착하며(Byeon, 2014), 유속이 빠른 환경에서 서식 및 산란하는 쉬리와 돌고기는 난을 돌과 자갈틈에 부착(Lee *et al.*, 2002; Song *et al.*, 2020)하는 등의 방법으로 난의 유실을 방지하고 원활한 산소공급을 유도하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 확인된 물개의 수정란은 유구가 존재하지 않으며 점착성을 가지는 침성점착란으로 국내 서식하는 같은 속에 속한 긴물개(Park *et al.*, 2005)와 점물개(Song *et al.*, 2017)의 난과 공통적인 특징을 보였지만 중국에 서식하는 *Squalidus argentatus*의 난은 부유성을 띠는 것으로 알려져 있어(Wang *et al.*, 2010) 차이를 보였다. 반면 대만에 서식하는 *Squalidus banarensui*은 침성점착란을 수변부의 식생에 부착하는 것으로 알려져 있다(Chen and Chang, 2005). 남한강에 서식하는 물개의 개체군 생태를 연구한 Byeon (2012)은 하상 구조가 필로 덮이거나 수초가 우거진 환경보다 수변부에 식생이 발달하고 모래가 노출된 환경에서 서식을 확인

하였다. 본 연구에서 사용된 성숙한 물개 성어를 채집한 지천의 하상구조 또한 대부분을 모래가 덮고 있으며 수변부에 수생식물 군락이 발달한 환경으로 Byeon (2012)의 연구 결과와 일치하였다. 이처럼 물개의 서식환경 및 난의 형질을 보았을 때 수초나 자갈보다는 수변부의 식생을 부착기질로 사용할 것으로 판단된다.

본 연구 결과 물개 난의 부화까지 소요된 시간은 49시간이었으며, 점물개의 난은 65시간(Song *et al.*, 2017) *S. gracilis majimae*는 약 58시간(Park, 2005)이 소요되어 차이를 보였다. 어류의 난 발생 과정 동안 온도, 염분, 용존산소, 조도 등의 다양한 환경요인에 영향을 받는 것으로 알려져 있으며(Kim and Jang, 1994), 특히 많은 어류에서 온도가 높을수록 발생단계별 소요시간이 단축되는 것으로 알려져 왔다(Forrester and Alderdice, 1966; Hwang *et al.*, 2005; Han and Cho, 2007). 이는 난 내 배아의 발생이 온도에 따라 대사율이 증가함에 따라 부화시간이 빨라지는 것으로 알려져 있다(Weltzien *et al.*, 1999). 본 연구에서 물개의 난 발생과정 동안의 수온은 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 인 반면 *S. multimaculatus*는 $24 \pm 1^\circ\text{C}$, *S. gracilis majimae*는 $26 \pm 1.5^\circ\text{C}$ 에서 실험이 진행되었다(Park, 2005; Song *et al.*, 2017). 따라서 정확한 부화시간의 비교를 위해서는 동일한 환경 조건에서의 비교가 필요할 것으로 판단된다.

2. 근연종과의 자치어 시기의 형태 비교

물개가 속한 모래무지아과 어류인 모래무지 부화자어의 전장은 4.6 mm (Lee *et al.*, 2008), 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*) 5.31 mm (5.03~5.68 mm, n=20), 돌상어(*Gobiobotia brevisbarba*) 5.5 mm (Ko *et al.*, 2011), 감돌고기(*Pungtungia nigra*) 5.8 mm (Lee *et al.*, 2004), 줄물개 4.4 mm (4.1~4.7 mm, n=20) (Kim *et al.*, 2019)로 알려져 있다. 본 연구에서 확인된 물개 부화자어의 평균 전장은 3.7 ± 0.1 mm (3.4~3.8 mm, n=16)로 같은 모래무지아과 다른 속 부화 자어에 비하여 크기가 작은 것으로 확인되었다. 어류에 있어 산란시기에 따라 다른 번식 전략을 가지는 것으로 알려져 있다. 겨울 산란종은 큰 알과 큰 자어를 생산하는 반면 자치어의 먹이가 풍부한 여름에 산란종은 비교적 작은 자어를 대량으로 생산하는 번식 전략을 선택하고 있다(Ware, 1975; Kim and Zhang, 1994). 따라서 감돌고기, 돌상어, 쉬리, 줄물개 등 대부분 모래무지아과 어류의 산란기가 4~5월(Chae *et al.*, 2001; Chae *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2019; Song *et al.*, 2020)에 비하여 6~8월경 산란하는 물개(Byeon, 2012)의 부화자어의 크기가 작은 것은 산란시기에 따른 번식 전략으로 생각된다.

자치어 시기 종별 분류 형질에는 항문의 위치, 근절 수, 흑색소포 분포 등(Kim *et al.*, 2011)이 있지만 본 연구에서는 비교적 관찰이 용이한 흑색소포 차이에 대해 논하고자 한다. 모래무지과 어류 중 줄물개의 자어는 등지느러미와 뒷지느러미의 기초가 정수에 도달하는 후기자어기에 등지느러미 및 뒷지느러미의 기초에 흑색소포가 분포하지 않지만(Kim *et al.*, 2019) 물개의 자

어는 등지느러미와 뒷지느러미의 기초가 정수에 도달하는 후기 자어기에 등지느러미와 뒷지느러미의 기초에 흑색소포가 분포하여 이 시기 자어의 흑색소포 분포에서 차이를 보여 잘 구분되었다. 또한 물개와 같은 속의 점물개 난 내 배체는 꼬리가 난황과 분리된 이후 난황과 두부 및 안포가 흑색소포에 의해 착색되었다(Song *et al.*, 2017). 긴물개 난 내 배체는 꼬리가 난황과 분리되는 시기에 안포가 흑색소포에 의해 착색되고 부화자어는 두정부에서 꼬리까지 몸 전체에 다수의 흑색소포가 분포하는 것으로 알려져(Park *et al.*, 2005)있어 난 내 배체 및 부화자어가 흑색소포가 발현되지 않은 물개의 자어는 같은 속의 2종과 차이를 보였다. 이후 발달 단계에서는 척삭굴곡이 완료된 후기자어기에 *S. multimaculatus*의 자어의 미병부에 밴드 형태로 발현되지만(Song *et al.*, 2017) *S. japonicus coreanus*의 후기자어의 미병부에는 흑색소포가 분포하지 않아 뚜렷한 차이를 보였다. 점물개는 같은 물개속 어류 중 물개와 외부형태가 가장 유사한 종으로 이들 종간 자어 시기에 흑색소포의 형태와 분포에서 차이가 확인되었다. 하지만 긴물개는 부화 이후 자어 및 치어의 형태가 알려지지 않았으며, 같은 속에 속한 참물개는 초기생활사가 밝혀지지 않아 이들에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

어류의 머리와 체측 표면에 발달하는 막대 모양의 cupulae (cupula)는 표면신경소구(superficial neuromast)를 이루는 모세포(hair cells)의 섬모 묶음으로 젤라틴 덩과 같은 구조인 cupulae (cupula)를 형성하고 있으며(Mogdans, 2019), 기능과 형태가 척추동물의 청각 및 전정시스템과 유사하다고 알려져 있다(Roberts *et al.*, 1988). 본 연구에서 관찰된 cupulae는 어류의 감각기관으로 잉어목(Cypriniformes) 어류에서 관찰이 되고 있으며(Iwai 1967, 1972; Mogdans, 2019), 물개가 속한 모래무지아과 어류인 쉬리(Song *et al.*, 2020), *Abbottina rivularis*, *Biwia zezera*, *Squalidus gracilis*의 3종(Nakamura, 1969) 및 일본산 모래무지(Nakajima and Onikura, 2015)를 대상으로 출현시기와 분포, 형태에 관한 일부 연구가 진행된 바 있다. 어류 자어시기에 나타나는 cupulae의 발달과정은 먹이섭식과 서식지 선택 등 자어의 초기 생존과 연관되어 있다(Iwai, 1972; Mukai and Kobayashi, 1991; Nakajima and Onikura, 2015). 또한 cupulae는 난황 흡수가 끝나고 먹이를 섭식하는 시기에 최대로 발달하기 시작하며, 후기자어시기에 최대한으로 짧아져 관찰되지 않는 것으로 보고된 바 있다(Nakajima and Onikura, 2015; Song *et al.*, 2020).

물개의 경우 부화 후 2일째 자어에서부터 cupulae가 관찰되기 시작하여, 부화 4일 후부터 나타나는 쉬리(Song *et al.*, 2020)에 비해 이른 시점부터 나타났으나 부화 후 5일이 경과하여 난황흡수가 완료되고 먹이를 섭식하는 시기에 cupulae가 머리와 몸 측면에 발달하는 점은 이전의 연구들과 동일하여 자어에서 발견되는 cupulae의 발달과정은 자어의 초기 먹이섭식과 관련이 있는 것으로 판단되었다.

Cupulae의 관찰 기간은 모래무지의 경우 후기자어시기인 전장 11.2 mm (Nakajima and Onikura, 2015), 쉬리 또한 부화 후 13일이 경과한 후기자어시기 (Song *et al.*, 2020)에 cupulae가 관찰되지 않아 후기자어시기에 cupulae가 관찰되지 않는 점은 같았으나 물개는 부화 후 40일이 경과한 시점에서 cupulae가 관찰되지 않아 이전에 연구된 모래무지와 쉬리에 비해 cupulae가 출현하는 기간이 상대적으로 긴 차이점이 있어 동일한 모래무지와 과 내에서도 속 또는 종에 따라 cupulae의 발달 및 유지기간이 다를 것으로 여겨진다.

자어의 머리와 몸 측면에 나타나는 cupulae의 수는 일본산 모래무지의 경우 최대 40쌍으로 측선 비늘수인 44개보다 적었으며, 쉬리 또한 32쌍으로 (Song *et al.*, 2020) 측선비늘수 39~42개 (Kim *et al.*, 2005)보다 적게 나타났다. 물개의 경우 부화 후 35일째 자어에서 관찰되는 cupulae 수가 30~34개로 측선비늘수 36~38개 (Kim *et al.*, 2005)보다 다소 적게 나타나 이전의 연구들과 동일하게 자어시기에 나타나는 cupulae의 수는 측선비늘수보다 다소 적게 나타나는 특징이 있었다.

따라서 우리나라에 분포하는 물개속 어류도 종에 따라 cupulae의 발달과정이 상이할 수 있으므로 현재 밝혀지지 않은 긴물개와 참물개 두 종에 대한 자·치어 발달과정에 대한 비교 연구가 추가적으로 필요하였다.

요 약

본 연구는 난과 자치어의 형태 및 생활사가 밝혀지지 않은 *Squalidus japonicus coreanus*의 초기생활사에 대하여 연구하였다. *S. japonicus coreanus*의 친어는 충청남도 공주시의 지천에서 확보하였다. 성숙한 암컷 친어에 HCG (human chorionic gonadotropin)를 10 IU/g의 농도로 주사하여 성숙란을 얻었으며, 습식법으로 인공 수정하였다. 수정란은 불투명한 흰색 원형의 침성점착란으로 난경은 1.12 ± 0.03 mm ($1.10 \sim 1.16$ mm, $n = 30$)였다. 수정란은 수온 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 수정 49시간 후 부화가 완료되었으며, 난황자어의 전장은 3.7 ± 0.1 mm ($3.4 \sim 3.8$ mm, $n = 16$)로 흑색소포가 관찰되지 않았다. 부화 5일 후 자어의 전장은 5.3 ± 0.2 mm ($5.0 \sim 5.5$ mm, $n = 16$)로 난황의 흡수가 완료되고 윤충류 섭식을 시작하여 전기자어기로 이행하였다. 부화 19일째의 자어의 전장 6.0 ± 0.3 mm ($5.4 \sim 6.5$ mm, $n = 16$)로 척삭말단이 굴곡이 시작되고 꼬리지느러미의 기초가 형성되어 중기자어기로 이행하였다. 부화 29일 후 자어의 전장은 9.6 ± 0.5 mm ($8.3 \sim 10.5$ mm, $n = 16$)로 척삭말단의 굴곡이 완료되어 후기자어기로 이행하였다. 부화 44일 후 전장 15.5 ± 1.0 mm ($13.5 \sim 17.0$ mm, $n = 16$)로 모든 지느러미의 기초가 정수에 도달하여 치어기로 이행하였다.

사 사

본 연구는 2021년도 국립수산물과학원 수산시험연구사업 내수면 수산자원 보호구역 환경 및 수산자원 연구(R2021036)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Balon, E.K. 1985. Early life histories of fishes: New developmental, ecological and evolutionary perspectives. Dr. W. Junk publisher., Dordrecht, Netherlands, 280pp.
- Banarescu, P. and T.T. Nalbant. 1973. Pisces, Teleostei, Cyprinidae (Gobioninae). Das Tierreich. Lieferung 93. Walter de Gruyter, Berlin, Germany, 304pp.
- Berg, L.S. 1906. Description of a new species *Leucogobio* from Korea. Ann. Mag. Nat. Hist. 7, XVIII: 394-396.
- Blaxter, J.H.S. 1974. The early life history of fish. Spring-Verlag. Berlin, Germany, 765pp.
- Byeon, H.K. 2012. Population ecology of *Squalidus japonicus coreanus* (Cyprinidae) in the Namhan River, Korea. Kor. J. Env. Eco., 26: 367-373.
- Byeon, H.K. 2014. Fish and efficiency on attached fish eggs of artificial floating island in lake Soyang, Korea. Korean J. Environ. Ecol., 28: 559-565. <https://doi.org/10.13047/KJEE.2014.28.5.559>.
- 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. 101-105.
- Chae, J.S., H.K. Byeon and O.K. Kwon. 2001. Reproductive ecology of *Gobiobotia brevibarba* (Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 13: 123-128.
- Chen, I.S. and Y.C. Chang. 2005. A photographic guide to the inland-water fishes of Taiwan. Vol. 1. Cypriniformes. SucciChan Press, Keelung, Taiwan, 284pp.
- Forrester, C.R. and D.F. Alderdice. 1966. Effects of salinity and temperature on embryonic development of the pacific cod (*Gadus macrocephalus*). J. Fish. Res. Board Can., 23: 319-340. <https://doi.org/10.1139/f66-027>.
- Han, K.H. and J.K. Cho. 2007. Effect of water temperature on the embryonic development of panther puffer, *Takifugu pardalis*. J. Aquaculture, 20: 265-269.
- Hwang, H.K., J.U. Lee, S.G. Yang, S.C. Kim and K.M. Kim. 2005. Water temperature and food on growth and survival of parrot fish larvae, *Oplegnathus fasciatus*. J. Aquaculture, 18: 13-18.
- 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.
- Jeon, H.B., D.Y. Kim, Y.J. Lee, H.G. Bae and H.Y. Suk. 2018.

- The genetic structure of *Squalidus multimaculatus* revealing the historical pattern of serial colonization on the tip of East Asian continent. *Sci. Rep.*, 8: 10629. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28340-x>.
- Kim, I.S. and Y.J. Lee. 1984. Taxonomic review of genus *Squalidus* (Cyprinidae, Pisces). *Bull. Korean Fish. Soc.*, 17: 132-138.
- 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, 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. Hanguel graphics, Busan, Korea, pp. 6-19.
- Kim, K.M., H.J. Jeon and H.Y. Song. 2019. Morphological development of egg and larvae of *Gnathopogon strigatus* (Gobiominae). *Korean J. Ichthyol.*, 31: 131-140. <https://doi.org/10.35399/ISK.31.3.2>.
- Kim, S. and C.I. Zhang. 1994. *Fish ecology*. Seoul Press, Seoul, Korea, pp. 59-161.
- Ko, M.H., S.Y. Park, I.R. Lee and I.C. Bang. 2011. Egg development and early life history of the endangered species *Gobiobotia brevibarba* (Pisces: Cyprinidae). *Korean J. Limnol.*, 44: 136-143.
- Lee, J.Y., S.I. Jang and W.O. Lee. 1998. Studies on early life history of the Korean Mandarin Fish, *Siniperca scherzeri* (Perciformes, Centropomidae). *Korean J. Ichthyol.*, 10: 1-10.
- 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 *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.
- Mogdans, J. 2019. Sensory ecology of the fish lateral-line system: Morphological and physiological adaptations for the perception of hydrodynamic stimuli. *J. Fish Biol.*, 95: 53-72. <https://doi.org/10.1111/jfb.13966>.
- 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. <https://doi.org/10.2331/suisan.57.1339>.
- Nakamura, M. 1969. Cyprinid fishes of Japan: Studies on the life history of cyprinid fishes of Japan. *Spec. Publ. Res. Inst. Nat. Resource*, 4: 1-455.
- 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>.
- Nelson, J.S., T.C. Grande and M.V.H. Wilson. 2016. *Fishes of the world*, 5th ed. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, U.S.A., p. 180.
- 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 Biol.*, 4: 63-92. <https://doi.org/10.1146/annurev.cb.04.110188.000431>.
- 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: 104-110.
- 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., 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: Gobiominae) in the Jo-jong Stream, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 32: 166-181. <https://doi.org/10.35399/ISK.32.3.7>.
- Uchida, K. 1939. The fishes of Tyosen. Part I. Nematognathi, Eventognathi. *Bull. Fish. Exp. Stat. Gov. Gener. Tyosen*, 6: 1-458.
- Ware, D.M. 1975. Relation between egg size, growth, and natural mortality of larval fish. *J. Fish. Res. Board Can.*, 32: 2503-2512. <https://doi.org/10.1139/f75-288>.
- Wang, Q.Q., J.M. WU, F.T. Zhang and J.W. Wang. 2010. Early development and starvation tolerance of the larva of *Squalidus argentatus* in Chishui River. *Chin. J. Zool.*, 45: 11-20.
- Weltzien, F.A., M. Planas and H.J. Fyhn. 1999. Temperature dependency of early growth of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) and its implications for developmental progress. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 242: 201-210.