

조종천에 서식하는 한국고유종 쉬리 *Coreoleuciscus splendidus* (Cypriniformes: Gobioninae)의 난발생, 자치어 형태 발달 및 자연산란장 연구

송하윤 · 김승용 · 김경무 · 곽영호 · 전형주*

국립수산과학원 중앙내수면연구소

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 by Ha-Yoon Song, Seung-Yong Kim, Kyeong-Mu Kim, Young-Ho Kwak and Hyoung-Joo Jeon* (Inland Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gapyeong 12453, Republic of Korea)

ABSTRACT The egg development, early life history and spawning site characters of Korean endemic fish, *Coreoleuciscus splendidus* (Gobioninae), were investigated at the part of Jo-jong stream in Korea from May 2020. The fertilized eggs were 2.05~2.23 mm (mean, 2.13 mm) in diameter and had no oil globules. The embryo began to hatching about 98 hrs after fertilization under water temperature of $20 \pm 1^\circ\text{C}$. The newly-hatched larvae were 5.03~5.68 mm (mean, 5.31 mm) in total length (TL), and their mouth and anus were not opened. 4 days after hatching, Several rod-like cupulae were observed on the head and lateral side of the body at 6.95~7.89 mm (mean, 7.51 mm). 7 days after hatching, the post-larva stage were 8.39~9.29 mm (mean, 8.78 mm) in total length, and their yolk were completely absorbed. The cupulae were completely distinguished. They entered the juvenile stage when all fin-rays were formed at 29 days after hatching, and their TL were 14.16~17.04 mm (mean, 14.99 mm). Squamation was initiated on the caudal body at approximately 18.21~23.74 mm (mean, 30.28 mm), 38 days after hatching, and completed at 26.82~33.33 mm (mean, 19.42 mm), 73 days after hatching, the external characteristics from of juveniles were same to adults. The spawning site was characterized by bottom structure of pebble (64~16 mm) and gravel (16~2 mm), environmental conditions of the spawning sites were 6~18 cm in water depth, 0.43~0.73 m/sec in bottom water velocity. In spawning sites, an egg mass or separated eggs were located a small gap of under the pebble and gravel.

Key words: *Coreoleuciscus splendidus*, early life history, spawning site

서 론

쉬리속 어류(*genus Coreoleuciscus*)는 잉어과(Cyprinidae), 모래무지아과(Gobioninae)에 속하는 일차 담수어로(Kim *et al.*, 2005) Mori(1935)에 의해 쉬리 *C. splendidus*의 1속 1종으

로 최초 분류되었으며, Song and Bang(2015)에 의해 쉬리와 참쉬리 *C. aeruginos*의 1속 2종으로 재분류되었다. 쉬리속 어류에 대한 연구는 미세분포(Choi *et al.*, 1990), 생태(Song and Kown, 1993), 산란 및 초기생활사(Song, 1977), 난발생 및 자치어 발달(Han *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2019), 연령과 성적이형(Song *et al.*, 2017c)의 생태연구 및 쉬리속 어류의 집단 간 유전자를 이용한 분자생물학적 연구(Song and Park, 2006; Song and Bang, 2009, 2015; Song *et al.*, 2010) 등이 진행되어 다른 모래무지아과 어류에 비해 비교적 연구가 많이 진행된 편이다.

저자 직위: 송하윤(해양수산연구소), 김승용(석사 후 인턴연구원), 김경무(연구원), 곽영호(박사 후 인턴연구원), 전형주(해양수산연구소)
*Corresponding author: Hyoung-Joo Jeon Tel: 82-31-589-5120, Fax: 82-31-589-5151, E-mail: aqua21@korea.kr

쉬리속 어류가 쉬리와 참쉬리로 종 수준에서 분류(Song and Bang, 2015)된 이후, 낙동강 상류지역 황지천에 쉬리가 인위적으로 이입되어 쉬리와 참쉬리 중간 잡종 개체군 출현이 보고되었으며(Song *et al.*, 2017a), Chae *et al.*(2019)는 잡종 개체군을 근거로 쉬리속 어류 2종 간에는 생식적 격리가 완전하지 않은 것으로 판단되어 종 내의 아종(subspecies) 관계로 판단하는 견해도 있어 이들 쉬리속 어류의 정확한 분류를 위해 기존에 연구가 진행되었던 외부형태와 유전학적 접근(Song and Park, 2006; Song and Bang, 2009, 2015; Song *et al.*, 2010) 뿐만 아니라 쉬리속 어류 두 종간의 변식생태적인 연구 등 다양한 측면에서 쉬리속 어류에 대한 비교연구가 필요하였다.

자치어의 형태발달을 포함하는 어류의 초기 생활사와 산란 생태에 대한 연구는 종 분화(Frost, 1965; Goto, 1983; Snorrason and Skulason, 2004)를 포함하여 유사종과의 계통 및 분류학적 유연관계를 규명(Blaxter, 1974; Balon, 1985, Kim *et al.*, 2014, Song *et al.*, 2017b)하기 위한 중요한 기초 연구 자료로 활용하고 있다. 그러나 현재 보고된 쉬리의 산란 및 초기생활사에 대한 선행 연구는 자연산란장 특징(Song, 1977)과 난발생 및 자치어발달(Han *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2019) 과정만 기록하여 자어의 감각기관(cupulae)의 발달 등 유사종과의 계통 및 분류학적 유연관계를 규명하기 위한 자료의 한계가 있었다.

따라서 본 연구는 쉬리속 어류의 분류학적 유연관계를 규명하기 위한 자료를 확보하고자 조종천에 서식하는 쉬리 개체군을 대상으로 난발생과 자치어 외부형태 발달을 포함하는 초기

생활사 연구와 함께 자연산란장의 위치, 수정란의 형태 등 변식생태학적 특징을 연구하였다.

재료 및 방법

1. 실험어의 확보

난발생 및 초기생활사 연구에 사용한 쉬리 어미는 2020년 5월 3일에 경기도 가평군 청평면 일대의 조종천에서 족대(망목 4×4 mm)를 사용하여 성숙한 암·수 각 20개체를 채집한 뒤 실험실로 운반하여 유리 수조(90×45×45 cm)에 수용하였으며 수온은 채집지와 동일하게 20±1°C로 관리하였다.

2. 수정란 확보 및 난·자치어 관리

수정란은 호르몬 주사 없이 암컷 개체의 복부를 압박하여 성숙란을 채란한 뒤 습식법으로 인공수정 하였으며, 사육 수온은 20±1°C로 유지하여 관리하였다. 부화 자어의 사육은 난황흡수가 거의 완료되는 부화 후 7일째부터 알테미아(brine shrimp) 유생을 공급하였고 부화 후 20일 후부터 미립자 배합 사료를 성장에 따라 함께 공급하였다. 사육 용수는 부화 후 30일까지 매일 오전과 오후에 1/2씩 환수하였다.

3. 난발생 및 자치어 관찰

쉬리 수정란은 점착성이 강하고 불투명한 특징이 있어 난 발

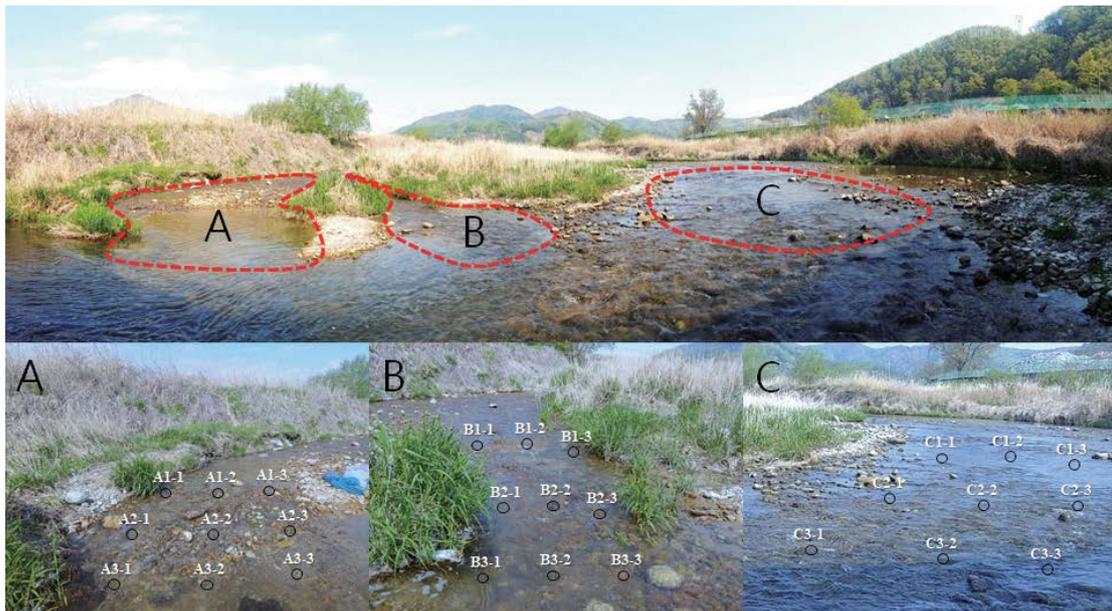


Fig. 1. Photos of spawning area (A, B, C) of *Coreoleuciscus splendidus* in Jo-jong Stream at Hacheon-ri, Chenogpyeong-myeon, Gapeong-gun, Gyeonggi-do Province, Korea (37°44'24.89"N, 127°26'09.58"E), 3 May 2020. The 27 black circles (A1-1~C3-3) were measured point of characteristics of spawning sites.

달과정을 관찰하기 위해 10 mL의 수용액에 100 mg로 희석한 Proteinase K (GeneAll, Korea)를 넣어 난 표면을 녹여 점착성 물질을 제거한 후 투명난으로 전환하였다. 이 후, 직경 150 mm 플라스틱 패트리디쉬에 수정란을 분산 수용하여 해부현미경 (SZH-10, Olympus Co., Japan)의 10~50× 배율로 관찰하였다.

난발생과정의 단계 표기와 용어는 Charles *et al.* (1995)를 따랐으며, 성장단계에 따른 자치어의 형태 발달과정은 부화 직후부터 부화 후 73일까지 마취제 (MS-222, Tricaine methanesulfonate; Sindel Co., Canada)를 사용하여 마취한 후 1일 20 개체씩 전장을 측정하였다.

4. 자연산란장 조사

자연산란장 조사는 경기도 가평군 청평면 하천리에 위치한 조종천 (37°44'24.89"N, 127°26'09.58"E)에서 수정란을 확인하기 위하여 망목이 작은 족대 (망목 1×1 mm)와 호미를 사용하여 조사하였다 (Fig. 1). 수정란이 확인된 곳의 유속, 수심, 하상구조 등의 물리적 환경요인과 수온을 측정하였으며, 유속은 디지털 유속계 (3000-C140, Swoffer Instruments., USA)를 사용하여 자연산란장의 20초간 평균 유속을 측정하였다. 하상입자 크기는 50 cm 자를 이용하여 방형구 내 (50×50 cm) 입자크기를 측정하였으며, Cummins (1962)에 의거하여 하상입자를 구분하였다. 채집한 수정란은 해부현미경 (SZH-10, Olympus Co., Japan)의 10× 배율에서 난경을 측정하였으며 (n=100), Proteinase K (GeneAll, Korea)를 이용하여 수정란 표면의 점착성 물질을 제거한 후, 개별적으로 분리하여 난괴 (egg mass)를 구성하는 수정란 수를 계수하였다. 채집한 모든 수정란과 자어는 난발생 및 자치어 사육조건과 동일하게 치어기까지 사육하여 쉬리의 수정란과 자어임을 확인하였다.

결 과

1. 난의 형태 및 특성

Stage A. 쉬리의 성숙란은 원형으로 난경이 1.52~1.71 mm (평균 1.61 ± 0.05 mm, n=30)의 범위를 보였으며, 수정란은 점착성이 강한 불투명한 침성점착란으로 수정란 또는 부착기질에 강하게 점착되었다. 세포질에 유구 (oil droplets)는 존재하지 않았으며, 수정 후 10분 뒤 물을 흡수하여 난황과 위관강이 뚜렷하게 분리되었으며, 수정란의 난경은 2.05~2.23 mm (평균 2.13 ± 0.05 mm, n=30)이었다 (Fig. 2-A)

2. 난발생 과정

쉬리의 난발생 과정은 수정, 난할, 포배형성, 낭배형성, 기관

형성, 부화의 총 6단계로 구분하였으며, 발생 기간 (period)과 단계 (stage)는 Table 1과 Fig. 2에 제시하였다.

1) Step I. 세포질 응집 (zygote)

Stage B. 수정 후 20분이 경과하면 동물극으로 세포질이 응집하며 배반 (blastodisc)이 난황 위에 형성되었다 (Fig. 2-B)

2) Step II. 난할 (cleavage)

Stage C. 수정 후 1시간 5분을 전후로 배반의 중앙이 수직으로 이등분되며 2세포기로 이행하였다 (Fig. 2-C).

Stage D. 수정 후 1시간 30분을 전후로 2세포기의 할구가 같은 크기로 이등분되며 4세포기로 이행하였다 (Fig. 2-D).

Stage E. 이후 약 20분 간격으로 난할이 진행되어 수정 후 2시간 20분을 전후로 8세포기 (Fig. 2-E), 2시간 40분 후 16세포기 (Fig. 2-F), 3시간 후 32세포기 (Fig. 2-G), 3시간 20분 후 64세포기에 도달하였다 (Fig. 2-H).

3) Step III. 포배 (blastula)

Stage F. 수정 후 3시간 40분을 전후로 128세포기 (Fig. 2-I) 이상의 상실기에 도달하였고 수정 후 5시간 20분을 전후로 배반의 테두리가 식물극을 수평으로 덮이며, 포배기에 도달하였다 (Fig. 2-J). 수정 후 10시간을 전후로 배반엽이 난황의 20~30%를 덮어 내려오면서 30% epiboly에 도달하였다 (Fig. 2-K).

4) Step IV. 낭배 (gastrula)

Stage G. 수정 후 12시간 전후로 50% epiboly (Fig. 2-L, 2-M), 수정 후 19시간을 전후로 70% epiboly (Fig. 2-N)에 도달하며 배반엽이 난황의 아래쪽으로 확산되었다.

Stage H. 수정 후 22시간을 전후로 배반엽이 난황의 90% 이상을 덮어 내려오면서 90% epiboly에 도달하였다 (Fig. 2-O).

5) Step V. 기관형성 (segmentation)

Stage I. 수정 후 23시간을 전후로 원구가 완전히 닫히고 난황 위쪽 가장자리로 투명한 배체 (embryo)가 형성되기 시작하였으며 (Fig. 2-P), 수정 후 25시간을 전후로 체절이 2~3개로 분리되어 나타났고 안포가 생성되었다 (Fig. 2-Q).

Stage J. 수정 후 29시간을 전후로 체절이 6~10개로 분리되어 나타났으며, 안포 뒤에 이포가 생성되었다. 수정 후 33시간이 경과하면 개체에 따라 체절이 14~20개로 증가하였으며 (Fig. 2-R), 수정 후 35시간을 전후로 체절은 20~24개로 증가하고 난황에서 꼬리가 분화되어 발달하기 시작하였다 (Fig. 2-S)

Stage K. 수정 후 38시간이 경과하면 체절이 26~30개로 증가하고 눈에 렌즈가 형성되었으며, 배체가 간헐적으로 움직이

Table 1. Time required for embryonic stages of *Coreoleuciscus splendidus* at water temperature 20 ± 1°C

	Stage	Elapsed		Characters	Fig. 2
		Hrs	Min		
Zygote period	Insemination	00	00	Sperm and egg are inseminated	
	Swelling	00	10	Swelling	A
	Blastodisc	00	20	Blastodisc	B
Cleave period	2 cells	01	05	2 blastodisc is cleavage	C
	4 cells	01	30	2 × 2 array of blastomeres	D
	8 cells	02	20	2 × 4 array of blastomeres	E
	16 cells	02	40	4 × 4 array of blastomeres	F
	32 cells	03	00	4 × 8 array of blastomeres	G
	64 cells	03	20	8 × 8 array of blastomeres	H
Blastula period	128 cells~	03	40	8 × 16 array of blastomeres, cleavage planes irregular	I
	Blastula	05	20	Flattening produces an elliptical shape	J
	30%-epiboly	10	00	20~30% epiboly	K
Gastrula period	50%-epiboly	12	00	Germ ring visible from animal pole, 50% epiboly	L, M
	70%-epiboly	19	00	70% epiboly	N
	90%-epiboly	22	00	90% epiboly	O
Segmentation period	Formation of the embryo	23	00	Formation of the embryo	P
	2~3 myotomes	25	00	Formation of optic vesicles	Q
	14~20 myotomes	33	00	14~20 myotomes	R
	20~24 myotomes	35	00	Tail begin to extended	S
	26~30 myotomes	38	00	26~30 myotomes, formation of eye lens	T
	30~32 myotomes	40	00	Above 30 myotomes, Formation of heart, elongation tail (30%)	U
Pharyngula period	32~myotomes	49	00	Beginning of heart pulse (47h), specialization of brain	V
		91	00	Black pigmentation in eyes	W
Hatching period		98	00	Hatching start	X, Y
				Hatching (50%)	
		121	00	Hatching complete	Z

기 시작하였다(Fig. 2-T). 수정 후 40시간이 경과하면 체절은 30개 이상으로 증가하였으며, 꼬리가 난황으로부터 30% 이상 분리되었고 심장이 형성되어 현미경으로 관찰이 가능하였다(Fig. 2-U).

6) Step VI. 심장박동과 흑색소포형성(pharyngula)

Stage L. 수정 후 47시간을 전후로 배체의 심장박동이 관찰되었으며, 수정 후 49시간이 경과하면 체절수가 30개 이상으로 늘어나고 뇌의 분화와 발달이 활발히 진행되었다(Fig. 2-V).

Stage M. 수정 후 91시간을 전후로 배체의 안구에 흑색소포가 착색되기 시작하였으며, 배체는 불규칙인 회전운동을 활발하게 하였다(Fig. 2-W)

7) Step VII. 부화(hatching)

Stage N. 수정 후 98시간이 경과하면 배체의 꼬리부분부터 난막을 뚫고 부화하기 시작하였다(Fig. 2-X, Y). 이후 98~104 시간 사이에 전체 수정란 2,328개 중 19.72%인 459개가 부화하였으며, 수정 후 105~112시간 내에 1,165개(50.04%)가 부화하여 전체 수정란 중, 약 70%에서 부화가 진행되었다. 수정 후 113~121시간 이내에 704개(30.24%) 수정란이 부화하여 부화 시작 후 23시간 내에 부화가 완료되었다(Fig. 4). 부화 직후의 자어는 전장이 5.03~5.68 mm (평균 5.31 mm)로 눈을 제외한 몸 전체는 무색투명하였다(Fig. 2-Z).

3. 자어 및 치어의 형태 발달

쉬리 자어의 부화 직후부터 전기, 후기 자어기 및 치어기 이

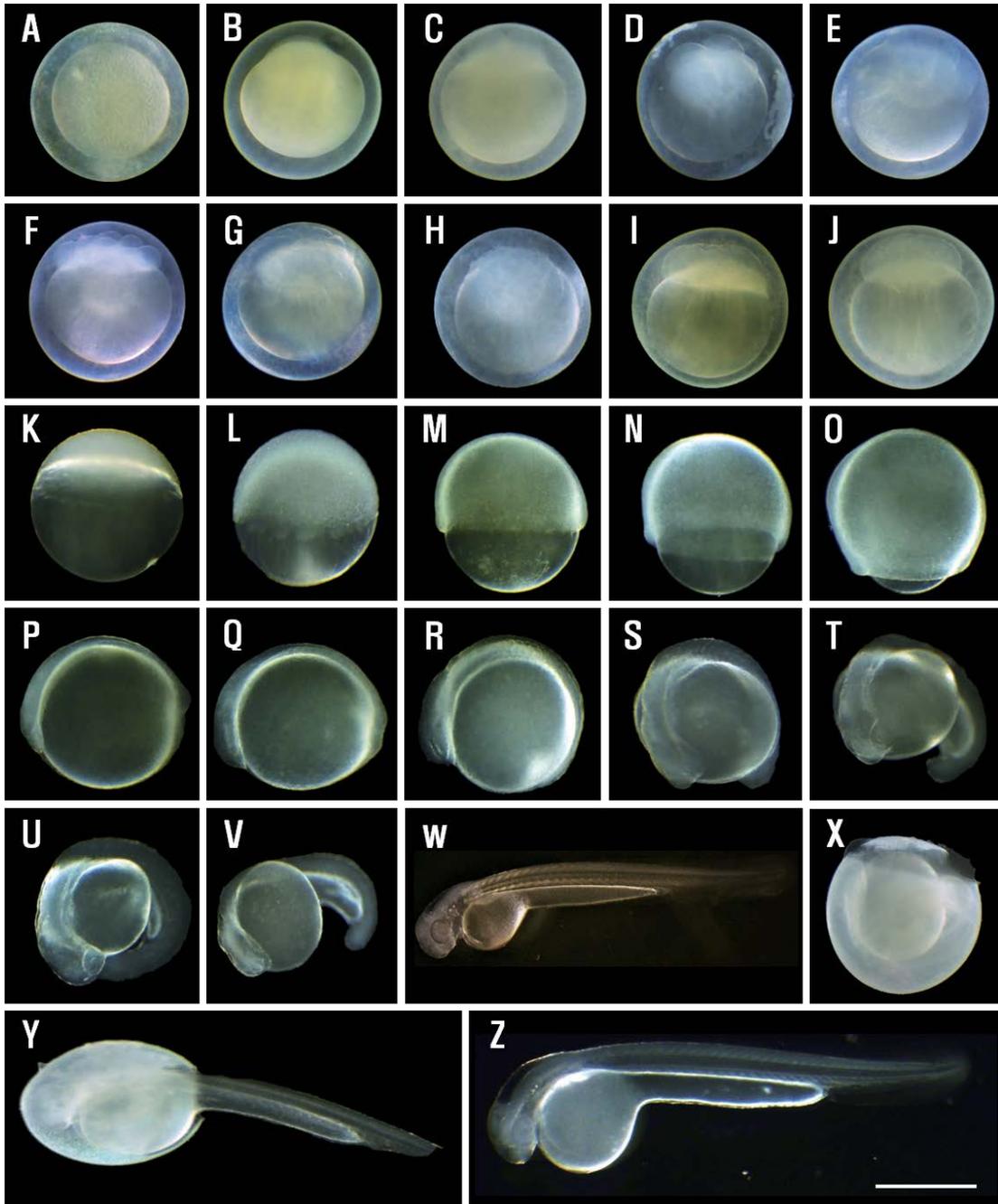


Fig. 2. Egg development of *Coreoleuciscus splendidus*. The animal pole is located on the top for the cleavage stages. A~I stage is views are shown during cleavage stages. J~O stage is views are shown during blastula and gastrula stages. P~W After the gastrula stage, the views are of the embryo's left side. Y~Z stage is views are shown hatching larva. Time required for each development stage is shown in Table 1. The white bar indicates 1 mm.

후 73일까지 성장 발육 단계별 전장(total length, mm) 변화는 Fig. 5에 나타내었다.

1) Step I. 전기자어(pre-larva)

Stage A. 부화 1일째의 자어는 전장 6.59~7.72 mm (평균

7.27 mm)로 흑색소포가 침착된 눈을 제외한 모든 부분이 무색투명하였다(Fig. 3-L₁).

Stage B. 부화 3일째의 자어는 전장 6.65~7.62 mm (평균 7.43 mm)로 흑색소포는 눈을 제외하고는 아직 나타나지 않았으며, 이 시기부터 자어의 움직임이 활발하게 나타나 울챙이

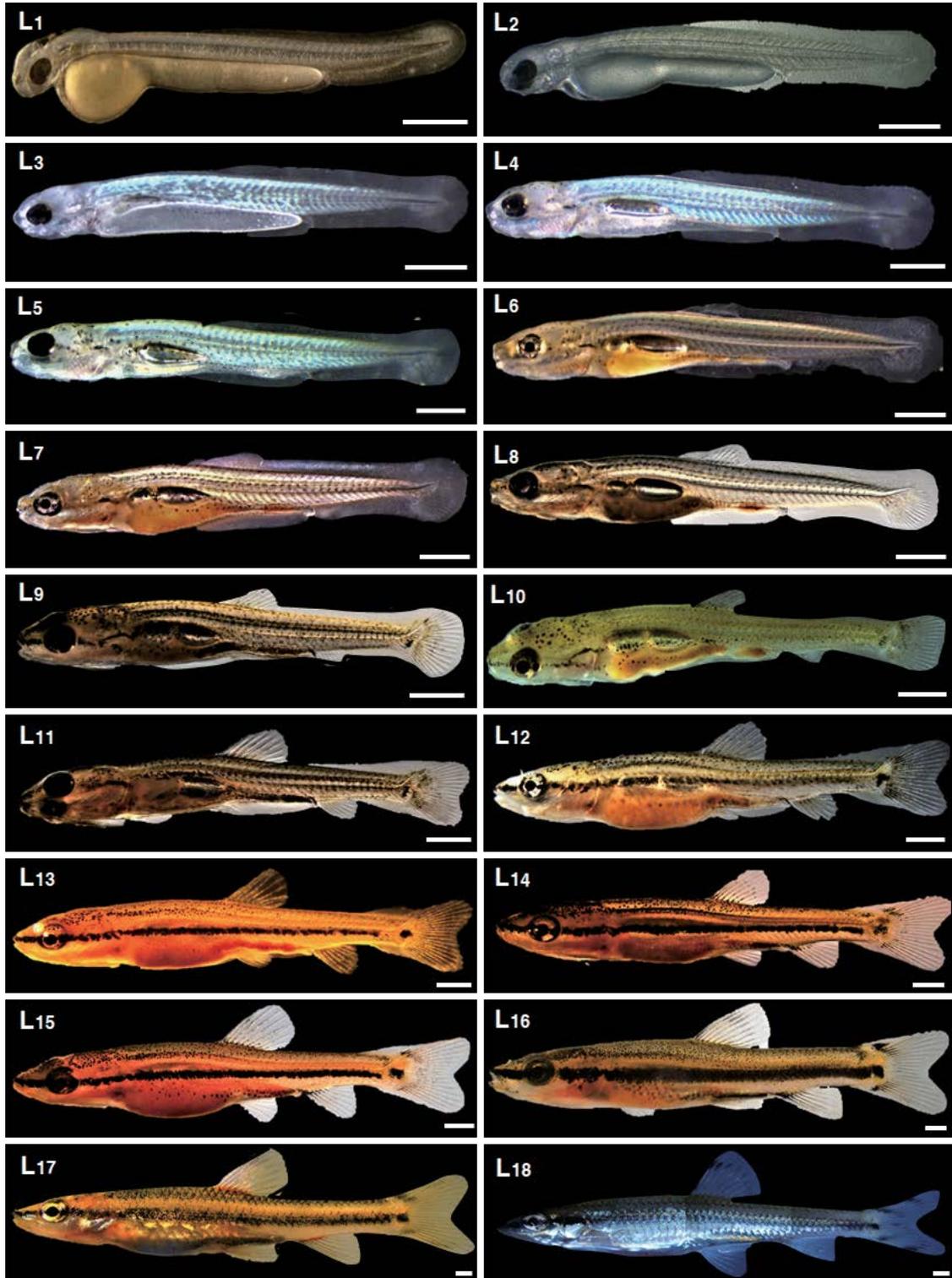


Fig. 3. Larva and Juvenile development of *Coreoleuciscus splendidus*. L₁~L₄ stage is pre-larva; L₅~L₁₄ stage is post-larva; L₁₅~L₁₈ stage is juvenile. The white bar indicates 1 mm.

처럼 유영하였다(Fig. 3-L₂).

Stage C. 부화 4일째의 자어는 전장 6.95~7.89 mm (평균

7.51 mm)로 심장 뒤쪽으로 부레가 발달하였고 입이 열렸으나
 향문은 아직 막지느러미 안쪽에 위치하여 열리지 않았다. 이



Fig. 4. Change in percentage (%) of hatching for hours (h) after fertilization of *Coreoleuciscus splendidus*. (○): this study, (□): Song (1977).

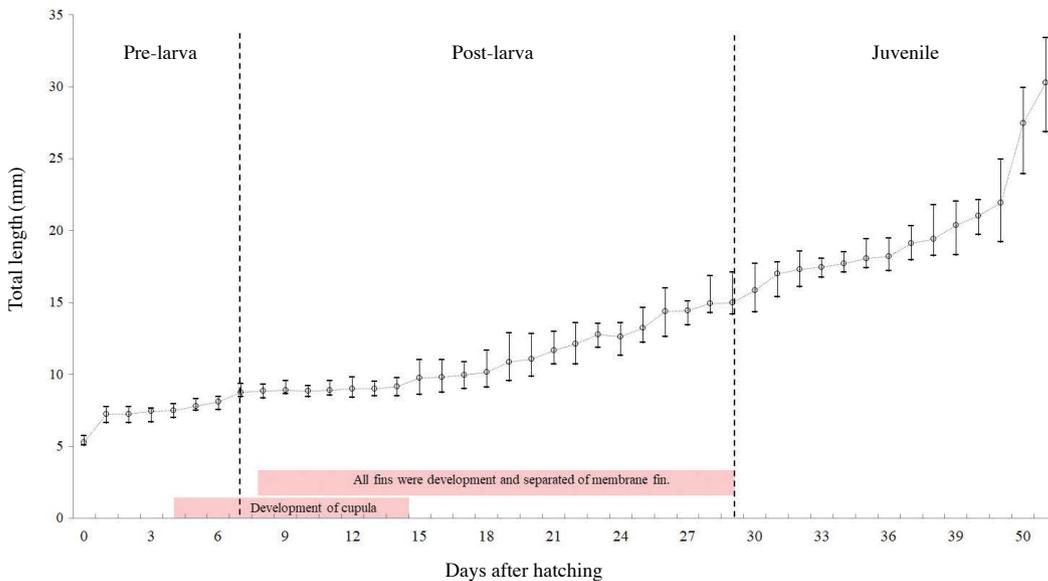


Fig. 5. Growth of larvae and juveniles after hatching in day of *Coreoleuciscus splendidus*. Circles and bars represent the mean and SD.

시기 자어는 유영능력이 발달하며, 머리와 난황위쪽으로 흑색 소포가 나타나기 시작하였다. 특징적으로 cupulae (cupula)가 출현하기 시작하여 (Fig. 6-A) 머리에는 짧은 막대기 모양으로 눈 뒤쪽 아가미덮개에 3~4쌍, 가슴지느러미 아래부터 미병부 사이에 10~14쌍이 형성되어 관찰되었다 (Fig. 3-L₃).

Stage D. 부화 6일째의 자어는 전장 7.51~8.42 mm (평균 8.09 mm)로 난황이 90% 이상 흡수가 진행되었으며, 개체에 따라 항문이 막지느러미 안쪽에 위치하여 완전히 열리지 않았다 (Fig. 3-L₄).

2) Step II. 후기자어 (post-larva)

Stage E. 부화 7일째의 자어는 전장 8.39~9.29 mm (평균 8.78 mm)로 입과 항문이 완전히 열렸으며, 부레가 2개로 분화되기 시작하였다. 또한 난황 흡수가 완전히 완료되어 후기자어기 (post-larva stage)로 이행하였으며, 알테미아 유생을 활발하게 섭식하기 시작하였다 (Fig. 3-L₅).

이 시기 자어의 cupulae의 발달이 많이 진행되어 입 주위에 5쌍, 눈 밑에서부터 아가미덮개 사이에 8~10쌍이 관찰되었으며, 가슴지느러미 아래부터 꼬리지느러미까지 28~32

쌍의 막대 모양의 감각기관이 관찰되었다. 이때 막대 모양의 감각기관 길이는 머리 부분 57.20~73.63 μm , 체측 부분 90.77~113.76 μm 로 측정되었다(Fig. 6-B).

Stage F. 부화 8일째의 자어는 전장 8.32~9.47 mm (평균 8.87 mm)로 지느러미의 분화가 시작되어 막지느러미에서 등지느러미와 꼬리지느러미가 분화 및 발달하기 시작하였다(Fig. 3-L₆).

Stage G. 부화 9일째의 자어는 전장 8.60~9.21 mm (평균 8.89 mm)로 척삭말단이 위쪽으로 약 15° 가량 굴곡이 나타났다(Fig. 3-L₇).

Stage H. 부화 11일째의 자어는 전장 8.51~9.49 mm (평균 8.92 mm)로 등지느러미의 기조는 5~6개로 나타나고 뒷지느러미가 막지느러미에서 분화되어 발달하기 시작하였다. 척삭말단이 완전히 굽었으며 꼬리지느러미 기조는 12~19개로 개체에 따라 다소 차이가 있었다. 자어의 cupulae는 입 주변에서 3~4쌍, 눈 밑에서부터 아가미덮개 사이에 8~10쌍이 관찰되었고 체측에서 30~32쌍 관찰이 가능하였다(Fig. 3-L₈).

Stage I. 부화 13일째의 자어는 전장 8.45~9.47 mm (평균 9.00 mm)로 등지느러미의 기조는 6~7개, 뒷지느러미는 3~4개로 늘어났다. 척삭말단이 40° 이상으로 굽어 꼬리지느러미가 상엽과 하엽으로 구분이 가능하였으며, 상엽과 하엽에 각

각 8~10개의 기조가 나타났다. 이때부터 자어의 막대 모양 cupulae는 짧아져 현미경상으로 관찰되지 않았다(Fig. 3-L₉).

Stage J. 부화 16일째의 자어는 전장 8.73~10.98 mm (평균 9.80 mm)로 등지느러미는 막지느러미에서 분리가 완료되었으며, 배지느러미가 막지느러미 안에서 발달하기 시작하였다(Fig. 3-L₁₀).

Stage K. 부화 19일째의 자어는 전장 9.50~12.83 mm (평균 10.86 mm)로 등지느러미는 분지연조와 불분지 연조의 구분이 가능하였으며, 이때의 기조수는 ii 7로 나타났다. 뒷지느러미는 막지느러미에서 분리되었고 6~7개의 기조가 관찰되었다(Fig. 3-L₁₁).

Stage L. 부화 21일째의 자어는 전장 10.68~12.93 mm (평균 11.70 mm)로 뒷지느러미의 분지연조와 불분지 연조의 구분이 가능하였으며, 이때의 기조수는 i 5~6로 나타났다. 배지느러미의 기조가 1~2개가 나타났으나 막지느러미에서 아직 완전하게 분리되지 못하였다(Fig. 3-L₁₂).

Stage M. 부화 23일째의 자어는 전장 11.83~13.50 mm (평균 12.76 mm)로 배지느러미가 막지느러미에서 분리되었으며, 기조수는 4~5개가 관찰되었다. 입에서부터 미병부까지 몸을 가로지르는 검은 띠가 선명하게 나타났다(Fig. 3-L₁₃).

Stage L. 부화 26일째의 자어는 전장 12.56~15.97 mm (평균

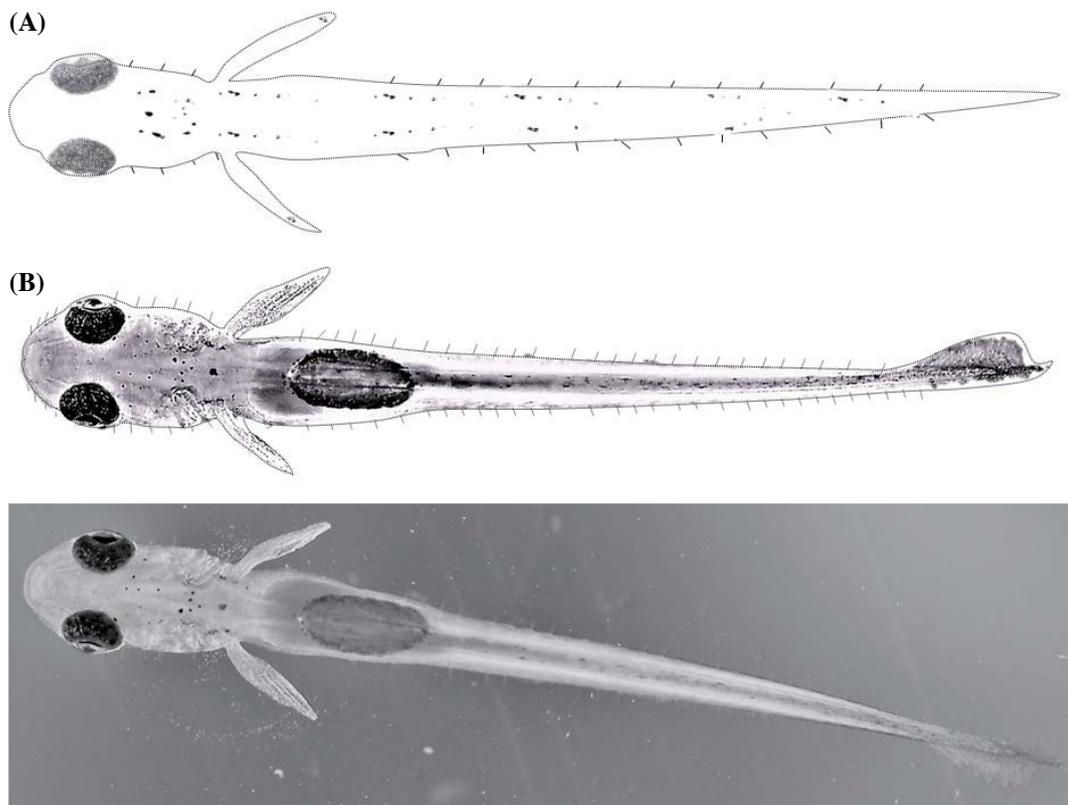


Fig. 6. Dorsal view of rod-like cupulae appearing in larvae of *Coreoleuciscus splendidus*. (A) pre-larva, 4 days after hatching (TL, 6.95~7.89 mm), (B) post-larva, 7 days after hatching (TL, 8.39~9.29 mm).

14.40 mm)로 배지느러미를 제외한 모든 지느러미의 기능이 완전해졌으며, 지느러미의 기초수는 D iii 7; A iii 6; V 5~7로 배지느러미를 제외한 등, 뒷지느러미의 기초수는 성어와 동일하였다(Fig. 3-L₁₄).

3) Step III. 치어기(juvenile)

Stage O. 부화 29일째의 자어는 전장 14.16~17.04 mm (평균 14.99 mm)로 비늘의 발달이 뚜렷하게 진행되지 않았으나(Fig. 7-A) 지느러미의 기초식이 D iii 7; A iii 6; V ii 7로 정수에 도달하여 치어기로 이행하였다(Fig. 3-L₁₅).

Stage P. 부화 38일째의 치어는 전장 18.21~23.74 mm (평균 19.42 mm)로 등지느러미 뒤쪽부터 비늘발달이 진행되고(Fig. 7-B) 비늘 끝부분부터 흑색소포가 발달하였다(Fig. 3-L₁₆).

Stage Q. 부화 50일째의 치어는 전장 23.89~29.67 mm (평균 27.47 mm)로 몸 전체에 비늘발달이 활발하게 진행되었으나, 복부비늘은 다른 비늘에 비해 다소 적게 나타나 아직은 내부기관이 보이는 상태였다(Fig. 7-C). 복부 위쪽으로 비늘이 뚜렷해짐에 따라 측선비늘은 몸 중앙에 뚜렷하게 나타났다(Fig. 3-L₁₇).

Stage R. 부화 73일째의 치어는 전장 26.82~33.33 mm (평균 30.28 mm)로 복부까지 비늘이 완전히 덮이게 되며(Fig. 7-D), 지느러미 반문을 제외한 체색 등의 외형이 성어와 유사하였다(Fig. 3-L₁₈).

4. 자연산란장의 특징

쉬리의 산란기인 2020년 5월 초에 수중관찰과 족대(망목 1×1 mm)를 사용하여 자연산란장의 특성 및 수정란 분포를 조사한 결과(Table 3)(Fig. 1) 수정란이 관찰된 자연산란장의 물리적 환경은 수심 6~18 cm, 유속 0.43~0.73 m/sec의 여울 부분에 직경이 1.6~25 cm 미만의 깨끗한 자갈과 돌이 층을 이루는 곳이었으며(Table 3)(Fig. 8-A), 수정란은 층을 이룬 자갈과 돌 틈 사이 또는 돌 아래쪽에서 채집되었다(Fig. 8-B). 특히 여울 중부와 하부는 유속이 0.43~0.58 m/sec로 다소 느려 하상에 모래가 퇴적되어 있으며, 모래위에 장경 6.5 cm 이하의 작은 돌과 자갈이 층을 이루어 쌓여있는 지점에서는 난괴와 함께 난황이 흡수되지 않은 자어가 채집되었다(Fig. 8-C). 채집한 수정란의 크기는 2.01~2.34 mm (2.17 ± 0.08 mm, n = 100)이며, 원형의 불투명한 황색으로 인공수정을 통해 확보한 쉬리 수정란의 평균난경 2.13 mm (n = 30)와 차이 없었다. 수정란은 모래를 포함한 미세한 입자들이 붙어 있지 않았으며, 개별적으로 1~2개의 수정란이 붙어있는 형태(separately eggs) 또는 불규칙한 형태의 난괴(Fig. 9-A)로 총 2,317개의 수정란이 채집되었다. 난괴는 최소 5개에서 최대 211개의 수정란이 뭉쳐있었으며, 돌에 점착되어 있는 수

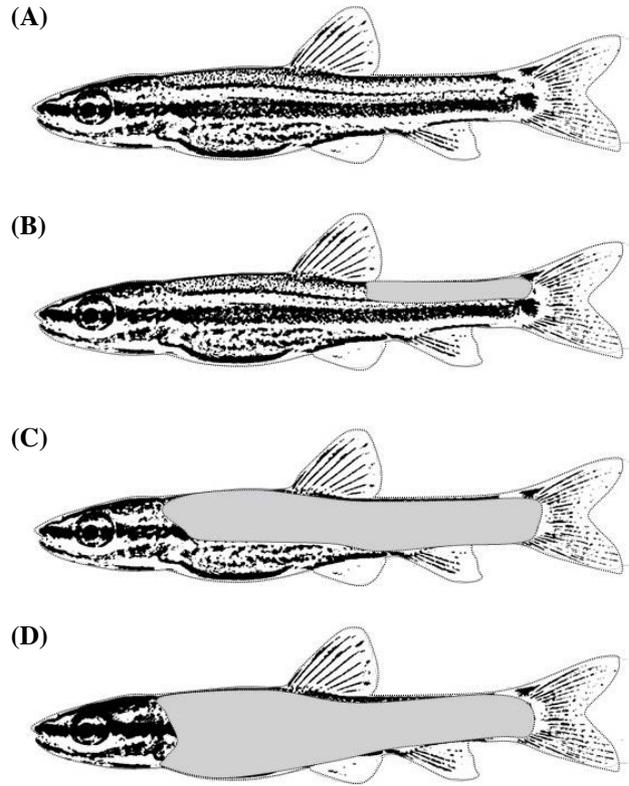


Fig. 7. Sequencing of squamation in reared juvenile *Coreoleuciscus splendidus*. (A) 14.16~17.04 mm TL, (B) 18.21~23.74 mm TL, (C) 23.89~29.67 mm, TL, (D) 6.82~33.33 mm TL. Shaded area indicates squamation.

정란은 발견되지 않았다. 유속이 0.60 m/sec 이상인 여울에서는 난괴의 형태로 존재하지 않고 수정란이 흩어져 있었으며, 유속이 0.43~0.58 m/sec인 여울에서는 난괴의 형태를 띠었다. 채집된 부화자어는 난황이 흡수되지 않은 전기자어로 크기는 6.14~8.91 mm의 범위였고 주로 채집된 환경은 여울 끝 부분에 바닥이 모래이며 자갈 또는 돌이 퇴적된 수심 6~16 cm, 유속 0.43~0.45 m/sec인 환경에서 채집되었다. 한편 채집한 수정란의 발달 단계는 산란 후 약 47시간 이상 경과한 것으로 추정되는 배체형성기와 배체의 렌즈에 흑색소포가 침착되어 있는 수정 후 약 91시간 이상이 경과된 것으로 판단되었다(Fig. 9-B).

고 찰

1. 난 형태 및 발생시간 비교

쉬리의 수정란은 우리나라에 분포하는 대부분의 모래무지아과 어류의 수정란 형질과 동일하게 강한 점착성을 가지는 침성점착란의 특징을 보였다. 본 연구에서 확인된 미수정 수정란의 크기는 1.52~1.71 mm (1.61 ± 0.05 mm)의 범위였고 수

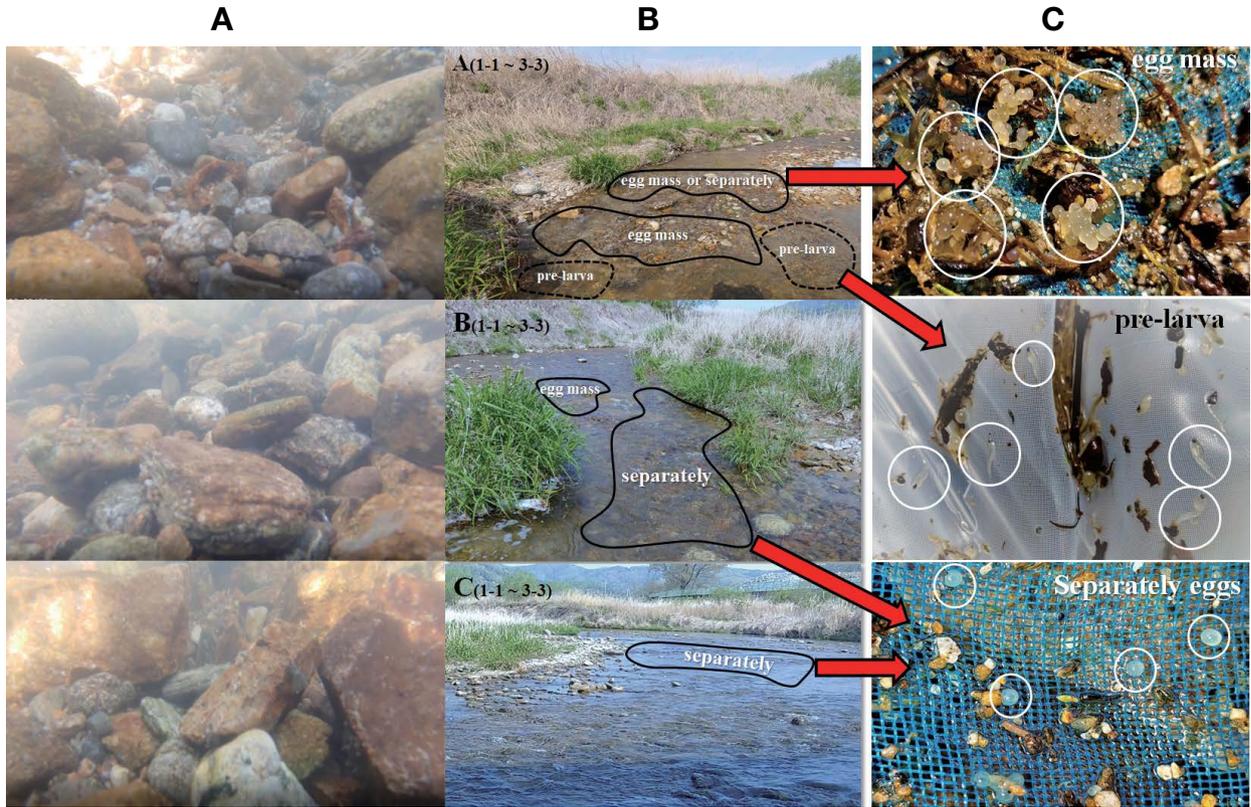


Fig. 8. Underwater photography and collected egg types (egg mass, separately eggs) of spawning sites. A line photos, underwater photography of bottom structure for each site; B line photos, collected area of eggs for each site; C line photos, collected eggs and pre-larva.

정란은 2.05~2.23 mm (2.13 ± 0.05 mm)의 범위를 보여 전주천 2 mm (Song, 1977), 홍천강 2.24 mm (Song and Kwon, 1993)와 수정란의 크기가 유사하였다. 그러나 웅천천 (Park *et al.*, 2019)은 수정란의 크기가 1.86~2.01 mm (1.91 ± 0.14 mm)로 다소 작았으며, 금강 수계 (Han *et al.*, 2018)는 2.11~2.66 mm (2.43 mm)로 다소 큰 편으로 나타나 연구자에 따라 차이를 보였다 (Table 2). 어류의 수정란은 수정 후, 수분을 흡수하면서 팽창하는 특징을 가지고 있어 연구자의 측정 시점에 따라 쉬리의 수정란 크기가 다소 다르게 측정이 된 것으로 판단되었다. 이 중, 웅천천 수정란 (Park *et al.*, 2019)은 1.86~2.01 mm (1.91 ± 0.14 mm)로 본 연구에서 측정된 미수정된 성숙란 크기인 1.52~1.71 mm (1.61 ± 0.05 mm), 홍천강의 1.94 mm (Song and Kwon, 1993)와 크기가 유사하여 수정 직후 또는 수정 후 10분 이내에 난경을 측정하여 나타난 차이로 여겨진다.

한편 쉬리 수정란은 모래무지아과 근연종인 줄물개 (Kim *et al.*, 2019) 1.7~1.9 mm (1.8 mm), 참붕어 (Han *et al.*, 2001) 1.62~2.77 mm (1.9 mm), 가는돌고기 (Ko *et al.*, 2012) 1.8~2.1 mm (1.96 mm)의 수정란보다 약간 큰 편이었고, 돌고기 (Lee *et al.*, 2002) 2.0~2.3 mm (2.1 mm), 감돌고기 (Lee *et al.*, 2004) 1.9~2.2 mm (2.2 mm), 어름치 (Ko *et al.*, 2017) 2.10~2.40 mm

(2.2 mm)와 크기가 유사하였다 (Table 2).

본 연구결과 쉬리의 부화 시간은 수온 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 조건에서 수정 후 98시간부터 부화가 시작되고 수정 후 112시간 내에 전체 수정란 중 약 70% 이상 부화가 진행되며, 수정 후 121시간 내에 모든 수정란이 부화가 완료되어 Song (1977)의 연구결과와 비슷하였다 (Table 2, Fig. 4). 그러나 웅천천 쉬리를 대상으로 연구를 진행한 Park *et al.* (2019)의 연구결과는 수온 21°C 에서 172시간에 부화를 시작하여 큰 차이를 보였다. 따라서 수온 $21 \sim 23^\circ\text{C}$ 의 범위에서 수정 후 121~123시간 내에 부화를 완료한 본 연구 및 Song (1977)의 결과와 차이가 있어 서식 수계에 따른 부화 시간 확인이 필요하였다.

어류 수정란의 부화 시간은 초기 생존율과 연관이 있으며, 난발생 및 부화 시간은 수온 등 물리적인 환경요인, 난의 크기, 탁란 또는 다른 생물체내에 산란하는 등의 생태적인 요인에 따라 종에 따른 차이가 있고 난의 크기가 작을수록 큰 난을 가진 종보다 부화 시간이 빠르다 (Balon, 1975; Beak, 1978; Ko *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2019).

발생 수온이 서로 상이하여 다른 모래무지아과 어류들과 직접적인 비교는 어려우나 쉬리의 부화 시간은 알 크기가 작고 부화 시간이 빠른 물개속 어류 (Park *et al.*, 2005; Song

Table 2. Comparisons of egg development and early life history characteristic of Gobioninae fishes in Korea

Genus	Species	Maturation egg diameter (mean, mm)	Fertilized egg diameter (mean, mm)	Time of hatching (water temp.)	Newly hatching size (mean, mm)	Days until post-larva (days)	Days until Juvenile (days)	References (sampling site)
<i>Coreoleuisiscus</i>		1.52~1.71 (1.61±0.05)	2.05~2.23 (2.13±0.05)	98~121h (20±1°C)	5.03~5.68 (5.31)	1.5	29	Present study (Jo-jong Stream)
		-	2	111~114h (19~23°C)	5.20	-	-	Song, 1977 (Jeon-ju Stream)
	<i>C. splendidus</i>	1.94±0.10	2.24±0.07	-	-	-	-	Song and Kwon, 1993 (Hong-cheon River)
<i>Pungtungia</i>		-	2.11~2.66 (2.43)	-	5.87~7.93 (6.90)	7	49	Han <i>et al.</i> , 2018 (Getum River)
	<i>P. herzi</i>	-	1.86~2.01 (1.91±0.14)	172h 10min (21°C)	5.27~6.63 (5.95)	10	88	Park <i>et al.</i> , 2019 (Ung-cheon Stream)
<i>Pseudopungtungia</i>		-	2.00~2.30 (2.10)	185h 55min (19°C)	5.90~6.30 (6.00)	13	45	Lee <i>et al.</i> , 2002
	<i>P. nigra</i>	-	2.00~3.10 (2.18)	189h (19°C)	5.70~5.91 (5.82)	6	44	Lee <i>et al.</i> , 2004
	<i>P. tenuicorpa</i>	-	1.80~2.10 (1.96)	240h (23°C)	8.20~8.90 (8.60)	2	10	Ko <i>et al.</i> , 2012
<i>Squalidus</i>	<i>S. gracilis majimae</i>	-	2.90	59h 49min (26°C)	3.30	-	-	Park <i>et al.</i> , 2005
	<i>S. multimaculatus</i>	-	0.80~0.90 (0.87)	66~77h (24°C)	2.50~3.10 (2.80)	5	30	Song <i>et al.</i> , 2017
<i>Gnathopogon</i>	<i>G. strigatus</i>	-	1.66~1.88 (1.76)	54~57h (23±1°C)	4.10~4.70 (4.40)	16	38	Kim <i>et al.</i> , 2019
<i>Hemibarbus</i>	<i>H. mylodon</i>	-	2.10~2.40 (2.20±0.06)	78h (20±1°C)	5.60~7.60 (6.70)	14	21	Ko <i>et al.</i> , 2017
<i>Pseudorasbora</i>	<i>P. parva</i>	-	1.62~2.77 (1.90)	184h 44min (17.6°C)	4.52~5.45 (5.16)	3	65	Han <i>et al.</i> , 2001

Table 3. The characteristics of spawning sites of *Coreoleuciscus splendidus* in the Jo-jong Stream (Hacheon-ri, Chenogpyeong-myeon, Gapyeong-gun, Gyeonggi-do Province, Korea. 37°44'24.89"N, 127°26'09.58"E), 3 May 2020. Water velocity was measured bottom, and percent substrate was quantified with a grid of nine 50×50 cm cells

Site No.		Water depth (cm)			Water width (m)	Water velocity (m/s)			Bottom structure (%) [*]					Type of fertilized egg	Number of pre-larva
		1	2	3		1	2	3	B	C	P	G	S		
Site A (Line, A1~3)	A1	10	16	6	1.8	0.43	0.52	0.37	-	10	50	40	-	Egg mass or separately	-
	A2	10	16	6	3.0	0.43	0.47	0.44	-	-	30	60	10	Egg mass or separately	77
	A3	16	16	10	3.6	0.45	0.24	0.38	-	15	30	35	20	Egg mass or separately	135
Site B (Line, B1~3)	B1	6	16	10	1.2	0.52	0.58	0.66	10	30	20	30	10	Egg mass or separately	36
	B2	10	18	10	1.0	0.65	0.79	0.58	-	10	50	40	-	Separately	5
	B3	14	18	10	1.3	0.77	0.73	0.66	-	10	40	50	-	Separately	-
Site C (Line, C1~3)	C1	7	18	10	12	0.42	0.45	0.43	20	10	30	20	20	Separately	-
	C2	6	22	10	15	0.85	1.18	0.77	10	35	35	20	-	-	-
	C3	14	30	20	15	0.75	0.95	0.66	-	40	45	15	-	-	-

^{*}Cummins (1962): B (bolder, >256 mm), C (cobble, 256~64 mm), P (pebble, 64~16 mm), G (gravel, 16~2 mm), S (sand, <2 mm)

et al., 2017)의 부화 시간인 59~77시간보다 늦었으며, 좁은 돌틈 또는 탁란을 통해 알을 보호하는 *Pungtungia*, *Pseudopungtungia*속 어류(Lee et al., 2002, 2004; Ko et al., 2012), 산란장을 지키는 참붕어의 184~240시간에 비해서는 빠른 부화 시간을 가졌다(Table 2). 쉬리의 부화 시간은 98~121시간이 소요되며, 자연산란장 조사 결과 수정란이 하천바닥의 자갈과 자갈 틈 사이에 난괴의 형태로 존재하였다. 이는 유속에 의한 수정란의 유실과 포식을 방지하여 수정란과 부화자어의 생존율을 높이기 위한 것으로 판단된다.

2. 근연종과 자치어 시기 형태 비교

부화 직후 쉬리 자어의 전장은 5.03~5.68 mm (5.31 mm)로 전주천 5.20 mm (Song, 1977), 웅천천(Park et al., 2019) 5.27~6.63 mm (5.95 mm)로 크기가 유사하였으나 금강(Han et al., 2018)은 5.87~7.93 mm (6.90 mm)로 다른 지역들에 비해 부화자어가 큰 것으로 나타나(Table 2) 서식지역에 따라 부화자어의 크기가 서로 상이하어 이에 대한 추가적인 검토가 필요하였다.

쉬리 부화자어는 모래무지아과 근연종인 줄물개(Kim et al., 2019) 4.10~4.70 mm (4.40 mm), 참붕어(Han et al., 2001) 4.52~5.45 mm (5.16 mm), 긴물개(Park et al., 2005) 3.30 mm, 점물개(Song et al., 2017) 2.50~3.10 mm (2.80 mm)에 비해 큰 편이었으며, *Hemibarbus*속 어류인 어름치(Ko et al., 2017) 5.60~7.60 mm (6.70 mm), *Pungtungia*속과 *Pseudopungtungia*속 어류인 돌고기(Lee et al., 2002) 5.90~6.30 mm (6.00 mm), 감돌고기(Lee et al., 2004) 5.70~5.91 mm (5.82 mm), 가는돌고

기(Ko et al., 2012) 8.20~8.90 mm (8.60 mm)에 비해 작아 모래무지아과 근연종들과 부화자어의 전장에서 중간 크기를 보여 구분되었다.

쉬리 치어는 부화 후 38일(평균 전장 19.42 mm)이 경과하면 측선 위쪽, 등지느러미와 꼬리지느러미 사이 미병부에서 비늘이 발달하기 시작하여 성장함에 따라 미병부, 배를 제외한 몸통 순으로 비늘이 나타나며, 부화 후 73일(평균 전장 30.28 mm)이 경과하면 복부까지 비늘로 덮여 비늘발달이 완료되었다(Fig. 6). *Hemibarbus*속 어류인 *H. barbus*는 몸 측면을 따라 앞쪽 배 부분부터 비늘이 발달하기 시작하였으며(Takeshita and Kimura, 1998), 일본산 모래무지는 미병부 전체부터 비늘이 발달하기 시작하여 머리 뒤, 몸통, 배의 순으로 비늘이 발달되어(Nakajima and Onikura, 2015) 쉬리와 차이를 보였다.

어류의 머리와 체측 표면에 발달하는 막대 모양의 cupulae (cupula)는 표면신경소구(superficial neuromast)를 이루는 모세포(hair cells)의 섬모 묶음으로 젤라틴 돔과 같은 구조인 cupulae (cupula)를 형성하고 있으며(Mogdans, 2019), 기능과 형태가 척추동물의 청각 및 전정시스템과 유사하다고 알려져 있다(Roberts et al., 1988)

쉬리 자어에서 관찰된 cupulae는 어류의 감각기관으로 다양한 잉어목(Cypriniformes) 어류에서 관찰이 가능하며(Iwai, 1967, 1972; Mogdans, 2019), 쉬리가 속한 모래무지아과 어류인 *Abbottina rivularis*, *Biwia zezera*, *Squalidus gracilis*의 3종(Nakamura, 1969) 및 일본산 모래무지(Nakajima and Onikura, 2015)를 대상으로 출현시기와 분포, 형태 등 연구가 진행된 바 있다.

자어시기에 나타나는 cupulae는 먹이섭식과 서식지 선택



Fig. 9. Morphological characteristics of fertilized eggs (A, egg mass) and development stage (B) in natural spawning sites. Red arrow shows black pigmented embryo's eye.

에 기여할 수 있다(Iwai, 1972; Mukai and Kobayashi, 1991; Nakajima and Onikura, 2015). 쉬리 자어시기에 발달하는 막대 모양의 cupulae는 자어의 유능능력이 활발해지는 부화 후 4일째 자어에서 발달하기 시작하였으며, 난황흡수가 완료되고 먹이를 섭식하기 시작하는 부화 후 7일째 자어에서 최대로 발달하여 쉬리 자어에서 나타나는 cupulae는 초기생활단계에서 서식지와 먹이선택을 위해 발달하는 것으로 판단된다.

한편 일본산 모래무지는 전장 5.0 mm에 도달하는 전기자어 시기부터 cupulae가 머리에 4~5쌍, 머리 뒤쪽 체측에 38~40쌍이 발달하고 성장함에 따라 짧아져 전장 11.2 mm로 성장한 후기자어시기에는 관찰되지 않았다(Nakajima and Onikura, 2015). 쉬리는 부화 4일 후 전기자어시기에 cupulae가 발달하기 시작하여 머리에 3~4쌍, 머리 뒤쪽체측에 10~14쌍이 생기고 후기자어가 시작되는 부화 7일 후에 최대로 발달하여 입 주변을 포함한 머리에 13~15쌍, 머리 뒤쪽으로 28~32쌍으로 나타났다. 부화 후 13일이 지난 후기자어에서는 현미경으로 관찰되지 않아 일본산 모래무지와 동일하게 후기자어시

기에 cupulae 짧아져 관찰되지 않았다.

자어의 머리 뒤쪽, 측선비늘 위쪽으로 나타나는 cupulae의 수는 일본산 모래무지의 경우 최대 40쌍으로 측선비늘수인 44개(Nakajima and Onikura, 2015)보다 적었었으며, 쉬리 또한 32쌍으로 측선비늘수 39~42개(Kim *et al.*, 2005)보다 적게 나타나 자어시기 발달되는 cupulae의 수는 측선비늘수에 비해 적을 것으로 사료되나 국내에 분포하는 모래무지아과 어류의 초기생활사 및 자치어 발달 연구에서는 cupulae를 포함한 감각기관 발달 등에 대한 연구는 이루어지지 않아 출현 시기, 분포, 형태 등 중간 비교는 할 수 없었다.

이처럼 동일종 또는 동일 속내에서 나타나는 발달과정과 초기생활사 차이는 종 또는 개체군이 서식하는 서식지의 환경적 특성 차이와 생태·생리학적 차이에 의한 것으로 판단되며, 쉬리속 어류 2종은 우리나라 대부분의 하천에 서식하고 있고 쉬리의 경우 서식지역과 연구자에 따라 수정란의 특징이 다소 상이하기 때문에 서식수계에 따른 비교 및 쉬리와 참쉬리 2종에 대한 비교 연구가 필요하다고 생각된다.

3. 자연산란장

Song (1977)은 쉬리의 산란 및 초기발생 연구를 통해 전주천에 서식하는 쉬리의 산란장은 수심 10~20 cm, 유속 5~15 cm이며, 하상은 주먹 크기의 돌에 모래가 섞여 있는 여울로 직경이 2 mm인 수정란이 돌에 수류의 반대방향으로 부착되어 있다고 보고하였고, Han *et al.* (2018)은 금강 수계에서 쉬리 수정란은 수심이 20~30 cm, 하상은 모래와 자갈로 구성된 유속이 완만한 여울 지역에 수정란이 돌에 부착되어 있다고 하였다.

본 연구에서 확인된 조종천 내 쉬리의 산란장은 Song (1977) 및 Han *et al.* (2018)과 동일한 여울지역이었으나, 유속, 수심 등 물리적 환경요인과 수정란의 형태와 분포에 차이가 있었다. 한강 수계인 조종천에서 관찰된 쉬리의 수정란은 유속이 0.43~0.58 m/sec로 상대적으로 유속이 완만한 여울에서는 100개 이상의 수정란이 불규칙적으로 뭉쳐있는 난괴형태를 띠었으며, 부화 후 자어들은 유속이 0.43~0.45 m/sec로 유속이 상대적으로 느린 여울 끝부분에 위치한 모래와 자갈이 깔려있는 지역에서 발견되었다. 또한 유속이 0.60 m/sec 이상으로 빠를수록 1~5개의 수정란이 자갈 사이에 뿌려져 있는 형태로 확인되어 돌에 부착되어 있는 수정란을 채집한 기존의 연구(Song, 1977; Han *et al.*, 2018)와 차이가 있었다(Table 3)(Figs. 7, 8). 위와 같이 한강 수계인 조종천에서 확인된 쉬리의 수정란은 난괴를 형성하여 선행 연구들과 전혀 다른 특성을 보여 정확한 번식생태학적 특성을 비교하기 위해 금강 수계에 서식하는 쉬리 개체군과 섬진강과 낙동강 수계의 참쉬리 개체군을 대상으로 추가적인 비교연구가 필요하였다.

쉬리와 유사한 환경에서 산란을 하는 잉어과 어류 중, 연준모치(*Phoxinus phoxinus*)와 금강모치(*Rhynchocypris kumgangensis*)는 깨끗한 자갈이나 잔자갈이 깔린 수심 5~70 cm, 유속 0.26~0.80 m/sec 범위의 여울지역 하상에 집단으로 산란하는 것으로 알려져 있으며(Song, 2000; Song and Son, 2002) 이들 종의 산란장 선택은 물의 순환에 따른 산소 공급률의 효율과 연관이 있다(Song, 2000).

천적으로부터 난을 보호하기 위해 하상 깊숙이 알을 낳거나 묻는 형태의 산란을 하는 경우 난에 대한 산소공급의 문제에 직면하게 되며, 유속에 따른 물의 순환률과 유속에 의한 난 또는 산란소의 유실 위험성 사이의 효율적인 지점에 산란장이 형성된다(Song, 2000). 쉬리의 산란장이 일정한 유속을 가지는 여울지역에 형성되는 것은 물의 순환에 따른 산소 공급률의 효율과 연관된 선택으로 여겨진다.

어류의 산란장소 선택, 난의 형태와 성질은 산란 직후와 발생 이후 수정란의 생존율에 중요한 역할을 한다. 또한 어류의 난은 성질에 따라서 부유성 어란(pelagic eggs)과 침성어란(demersal eggs)으로 구분되고(Kim *et al.*, 2011) 담수어류 대

부분은 침성어란으로 수정란이 산란 후 가라앉아 하류로 떠내려가는 것을 방지하며, 부착 방법에 따라 부착란과 점착란으로 구분할 수 있다.

따라서 침성점착란의 특성을 가지는 쉬리의 수정란은 참붕어(Han *et al.*, 2001), 돌고기(Lee *et al.*, 2002), 가는돌고기(Ko *et al.*, 2012)와 같이 돌 표면에 수정란을 부착하기 위한 목적보다는 수정란이 난괴를 형성하고 자갈 사이의 간극에 고정하여 발생 기간 동안 유속에 의한 난의 유실 위험성을 줄이기 위해 자갈 사이의 간극에 고정될 수 있도록 점착성을 가지며 난괴는 불규칙적인 형태를 띠는 것으로 여겨진다.

한편 쉬리의 포란수는 617~1,690개(Song and Kwon, 1993)이며, 본 연구에서 확인된 한 개의 난괴를 형성하는 수정란은 최대 211개이고 수정란의 발생 단계가 다양하였다. 또한 산란장 내에 난괴가 특정 장소에 모여 있지 않고 폭넓게 흩어져 있는 것으로 미루어 볼 때, 쉬리의 산란생태는 산란장 내에 소수의 개체군으로 구성된 다수의 개체군이 일정한 지역의 산란장에 여러 차례 산란하는 것으로 추정되었다. 추후 microsatellite DNA를 이용한 유전자 분석을 통해 지점별 난괴의 유전형을 분석하면 친어의 성비 규명 등을 통해 쉬리 산란생태와 현재 낙동강 상류지역에 분포하고 있는 잡종형성 개체군에 대한 유전학적 연구에 도움이 될 것으로 판단된다.

요 약

조종천에 서식하는 한국고유종 쉬리 *Coreoleuciscus splendidus* (Gobioninae)의 초기생활사와 자연산란장 연구를 2020년 5월에 수행하였다. 수정란의 크기는 2.05~2.23 mm (평균, 2.13 mm)로 유구는 없었다. 수온 20±1°C에서 수정 후 약 98시간이 경과하여 부화하기 시작하였다. 부화자어의 전장은 5.03~5.68 mm (평균, 5.31 mm)로 입과 항문은 열리지 않았다. 부화 4일 후 전장은 6.95~7.89 mm (평균, 7.51 mm)로 자어의 머리와 체측면에서 막대 모양의 cupulae가 관찰되었다. 부화 후 7일의 전장은 8.39~9.29 mm (평균 8.78 mm)로 난황이 완전히 흡수되어 후기자어기로 이행하였고 cupulae는 명확하게 관찰되었다. 부화 후 29일에는 전장은 14.16~17.04 mm (평균, 14.99 mm)로 모든 지느러미의 기초수가 정수에 도달하여 치어기로 이행하였다. 부화 후 38일의 전장은 18.21~23.74 mm (평균, 19.42 mm)로 비늘은 미병부부터 발달이 시작되었다. 부화 후 73일에는 전장 26.82~33.33 mm (평균, 30.28 mm)로 외부 형태적 특징은 성어와 유사하였다. 쉬리의 자연산란장은 조약돌(64~16 mm)과 자갈(16~2 mm)이 바닥에 깔려있었으며, 수심 6~18 cm, 바닥부분의 유속은 0.43~0.73 m/sec인 지역이었다. 수정란은 난괴(egg mass) 또는 개별적으로 분리된 형태로 조약돌과 자갈 아래의 작은 간극에 위치하였다.

사 사

본 연구는 2020년도 국립수산과학원 수산시험연구사업 내 수면 수산자원보호구역 환경 및 수산자원연구(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. 1975. Reproductive guilds of fishes: A proposal and definition. J. Fish. Res., 32: 821-864.
- Balon, E.K. 1985. Early life history of fishes: New developmental, ecological and evolutionary perspectives. Dr. W. Junk publisher, Dordrecht, Netherlands, 280pp.
- 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, 355pp.
- Charles, B.K., W.B. William, R.K. Seth, U. Bonnie and F.S. Thomas. 1995. Stages of embryonic development of the zebrafish. Dev. Dyn., 203: 253-310. <https://doi.org/10.1002/aja.1002030302>.
- Choi, K.C., S.S. Choi and Y.P. Hong. 1990. On the microdistribution of fresh-water fish, *Coreoleuciscus splendidus* (Gobiioninae) from Korea. Korean J. Ichthyol., 2: 36-76.
- Cummins, K.W. 1962. An evolution of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. Am. Midl. Nat., 67: 477-504.
- Frost, W.E. 1965. Breeding habits of Windermere charr, *Salvelinus willughbii* (Günther), and their bearing on speciation of these fish. Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci., 163: 232-284. <https://doi.org/10.1098/rspb.1965.0070>.
- Goto, A. 1983. Spawning habits and reproductive isolating mechanism of two closely related river-sculpins, *Cottus amblystomopsis* and *C. nozawae*. Japanese J. Ichthyol., 30: 168-175.
- 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. Chon-nam 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. Yosul Natl. Univ., 3: 67-76.
- 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 larva. Japan J. Ichthyol., 19: 307-311.
- 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., 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* (Gobiioninae). Korean J. Ichthyol., 31: 131-140.
- 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., 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.
- 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.
- Mori, T. 1935. Studies on the geographical distribution of freshwater fish in Korea. Bull. Bioerogr. Soc. Jap., 7: 35-61.
- 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.
- Nakajima, J. and N. Onikura. 2015. Larval and juvenile development of pike gudgeon, *Pseudogobio esocinus* (Cyprinidae: Gobiioninae). Ichthyol. Res., 62: 268-273. <https://doi.org/10.1007/s10228-014-0436-5>.
- 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.
- 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. Report., 23: 161-170. <https://doi.org/10.12717/DR.2019.23.2.161>.
- 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.
- Snorrason, S.S. and S. Skulason. 2004. Adaptive speciation in northern freshwater fishes. In: Dieckmann, U., M. Doebeli, J.A.J. Metz and D. Tautz (eds.), *Adaptive speciation*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K., pp. 210-228.
- Song, H.B. and O.K. Kwon. 1993. Ecology of *Coreoleuciscus splendidus* Mori (Cyprinidae) in Hongcheon River. *Korean J. Limnol.*, 26: 235-244.
- Song, H.B. 2000. Population Ecology of fat minnow, *Rhynchocypris kumgangensis* (Cyprinidae) in Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 12: 101-110.
- Song, H.B. and Y.M. Son. 2002. Maturity and reproductive ecology of the minnow, *Phoxinus phoxinus* (Cyprinidae) in upper South Han River, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 14: 262-268.
- Song, H.B. and G.M. Park. 2006. A molecular genetic variation among intra-populations of Korean shiner, *Coreoleuciscus splendidus* Mori (Cyprinidae). *Korean J. Ichthyol.*, 18: 78-86.
- Song, H.H. 1977. Studies on the spawning and early development of *Coreoleuciscus splendidus* Mori. *J. Sci. Edu.*, 3: 49-60.
- Song, H.Y. and I.C. Bang. 2009. Genetic variation of *Coreoleuciscus splendidus* populations from four major river in Korea as assessed by RAPD-PCR. *Korean J. Ichthyol.*, 21: 129-133.
- Song, H.Y., K.Y. Kim, M.G. Yoon, Y.K. Nam, D.S. Kim and I.C. Bang. 2010. Genetic variation of *Coreoleuciscus splendidus* population (Teleostei; Cypriniformes) from four major river drainage systems in South Korea as assessed by AFLP markers. *Gene & Genomics*, 32: 199-205.
- Song, H.Y. and I.C. Bang. 2015. *Coreoleuciscus aeruginos* (Teleostei: Cypriniformes: Cyprinidae), a new species from the Seomjin and Nakdong river, Korea. *Zootaxa*, 3931: 140-150.
- Song, H.Y., J.H. Kim, I.Y. Seo and I.C. Bang. 2017a. Species and hybrid identification of genus *Coreoleuciscus* species in Hwangji Stream, Nakdong River basin in Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 29: 1-12.
- Song, H.Y., M.H. Ko, I.Y. Seo, S.J. Moon and I.C. Bang. 2017b. Morphological development of egg and larvae of *Squalidus multimaculatus* (Gobioninae). *Korean J. Ichthyol.*, 29: 52-61.
- Song, H.Y., K.M. Kim, A.R. Shin, J.S. Lee, H.W. Park and W.O. Lee. 2017c. Analysis of gonadosomatic index (GSI) and sexual dimorphism of *Coreoleuciscus splendidus* in age groups. *Korean J. Ichthyol.*, 29: 176-189.
- Takeshita, N. and S. Kimura. 1998. Habitat change with growth of the yearlings of the cyprinid fish *Hemibarbus barbus* in the Chikugo River. *J. Natl. Fish. Univ.*, 47: 15-21.