

줄몰개(*Gnathopogon strigatus*)의 난 발생 및 자치어 형태 발달

김경무 · 전형주 · 송하윤*

국립수산과학원 중앙내수면연구소

Morphological Development of Egg and Larvae of *Gnathopogon strigatus* (Gobioninae) by Kyeong-Mu Kim, Hyoung-Joo Jeon and Ha-Yun Song* (Inland Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gapyeong 12453, Republic of Korea)

ABSTRACT This study is to observe species identification and early life history of *Gnathopogon strigatus* and to use it as a basis for taxonomic studies and conservation of species. For the experiments, the mature adults were collected at the Wang-suk Stream located in Namyang-ju city, Gyeong-gi Province and eggs were artificially fertilized by the wet method in the laboratory. The shape of the fertilized egg was globular, adhesive, opaque white in color and had no oil globules. The fertilized egg was 1.66~1.88 mm (average 1.76 mm, n=30) in diameter. The blastular stage occurred at 3 hours 05 minutes after fertilization and the gastrular stage was detected at 8 hours 30 minutes after fertilization. The embryo began to hatch about 54 hrs after fertilization under water temperature of $23 \pm 1^\circ\text{C}$ and the newly hatched larva (yolksac larva) were 4.1~4.7 mm (mean 4.4 mm, n=20) in total length (TL). The fourth day after hatching, the postlarva were 5.4~5.9 mm (mean 5.6 mm, n=20) in total length, their yolk sacs were completely absorbed and Start eating *Artemia* sp. Ten days after hatching, flexion larva were begins Notochord flexion were 7.5~8.6 mm (mean 8.1 mm, n=20) in total length. Sixteenth day after hatching, postflexion larva were complete Notochord flexion were 8.2~9.7 mm (mean 9.1 mm, n=20) in total length. At thirty-eight days after hatching, Juvenile were arrive integer all fin rays and similar to those of adults were 11.3~15.5 mm (mean 13.3 mm, n=20) in total length.

Key words: *Gnathopogon strigatus*, egg development, early life history

서 론

줄몰개 속(genus *Gnathopogon*)어류는 잉어목(Cypriniformes) 모래무지아과(Gobioninae)에 속하며 러시아 아무르강 수계, 몽골, 중국, 한국 등 동아시아에 널리 분포하는 온대성 담수 어류로 전 세계에 8종이 유효한 종으로 보고되어 있다(Kakioka *et al.*, 2013; Froese and Pauly, 2019). 우리나라에는 1908년 Regan이 청주에서 채집한 3개체를 모식표본으로 신종 기재한 *Gnathopogon strigatus* (줄몰개) 1종이 압록강 및 서해와 남해로 흐르는 서한아 수계에 분포하고 있으며(Chae *et al.*, 2019), 국외에는 중국, 몽골, 러시아에 분포하고 있다(Zhu, 1995;

Bogutskaya and Naseka, 1996; Kottelat, 2006). *G. strigatus*는 국내에 단일 속 단일 종만 서식하는 어류로 서남해로 흐르는 하천에 서식하는 것으로 알려져 있으며, 이들 수계들에 대한 정량 조사를 실시한 연구들 중 *G. strigatus*의 출현을 확인한 한강수계(Byeon, 2013), 금강 본류(Hwnag *et al.*, 1992; Bang, 1995; Hur *et al.*, 2009), 영산강의 8개 소하천을 조사한 연구(Song and Kim, 1996)에서 *G. strigatus*는 서식 지역이 한정되고 매우 적은 개체 수만 채집된 것으로 확인되었다. 또한 회귀분석을 기반으로 하는 공간 확률 모델로, 생물의 출현 정보를 바탕으로 최대 엔트로피 접근법을 통해 생물의 분포를 예측하는 MaxEnt를 활용하여 기후변화에 따른 금강유역의 어류 분포 변화를 예측한 Bae and Jung (2015)의 연구에서는 지속적인 기후변화가 진행된다면 1세기 이후 *G. strigatus* 개체군이 금강에서 절멸할 것으로 예측하며 이에 대한 보존대책이 필요할 것으로 판단하였다.

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

과거 줄물개 속 어류에 대한 연구로는 일본에 분포하는 *G. caeruleus*와 *G. elongatus* 두 종을 대상으로 생물농축 및 화학물질의 영향에 관한 연구(Nakanishi *et al.*, 1987; Tsuda *et al.*, 1992), 산란 생태(Kikko *et al.*, 2014), 개체군 생태(Maki, 1966, 1967, 1968), 수온에 따른 성비 결정(Fujioka, 2006), 수온에 따른 난의 부화(Kikko *et al.*, 2015), 자어의 회유(Kikko *et al.*, 2015), 자어의 측선에 관한 연구(Mukai, 1995; Mukai, 2006), 분자 계통발생을 통한 기원과 종의 분화에 관한 연구(Kakioka *et al.*, 2013) 등 다양한 분야에 대한 연구가 진행되어 왔다. 하지만 우리나라에 서식하는 *G. strigatus*에 대한 연구는 유영 능력에 대한 평가(Misheel *et al.*, 2019)만 진행되었을 뿐 본 종에 관한 난 발생과 초기생활사 등의 기초생물학적 연구는 진행된 바가 없다. 어류의 난 발생 및 초기생활사 연구는 인공증식 기술 확립과 어족자원의 보존방안에 활용하고 있다(Kim *et al.*, 1987; Kim *et al.*, 2008; Song *et al.*, 2009; Ko *et al.*, 2011a). 따라서 본 연구는 *G. strigatus*를 대상으로 인공수정을 통한 난 발생 과정과 이후의 자치어 발달 과정을 관찰하여 내수면 어류의 자치어 동정을 위한 기반 자료 마련과 추후 본 종의 개체군의 감소에 대비한 종 보존에 기여하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험어 확보

본 연구에 사용한 *G. strigatus* 성어는 2019년 4월 경기도 남양주시 진접읍 왕숙천에서 족대(망목 4×4 mm)를 이용하여 암컷 30개체, 수컷 30개체를 채집한 뒤 실험실에서 수온 23±1°C로 사육 관리하였다.

2. 친어의 산란유도 및 관리

채집된 개체 중 성숙한 개체들을 선별 후 HCG (human chorionic gonadotropin) 호르몬을 10 IU/g의 농도로 복강에 주사하였으며 12시간이 경과 후 친어의 복부를 압박하여 채란한 뒤 습식 방법으로 인공수정 하였다. 수정란은 직경 15 cm 페트리리쉬에 분산 수용하고 사육수온은 실내 냉난방기를 이용하여 23°C±1°C로 유지 및 관리하였다. 부화 자어는 난황 흡수가 90% 완료되는 부화 3일 후부터 사각 수조(200×100×50 mm)로 옮겨 윤충류(Rotifer)를 1일 3회 공급하였고, 부화 4일 후에는 brine shrimp (*Artemia* sp.) 유생과 미립자 배합사료를 1일 3회 공급하였다. 사육 용수는 부화 후 매일 오전과 오후에 1/3씩 환수하였다.

3. 난 발생 및 자치어 관찰

수정란은 해부현미경(SZH-10, Olympus Co., Japan)의 10×

~50×배율로 관찰하였다. 성장단계별 자치어의 형태 발달과정에 따른 크기 측정은 부화 직후부터 부화 후 32일까지 마취제(MS-222, Tricaine methanesulfonate; Sindel Co., Canada)를 사용하여 마취한 후 1일 20개체씩 전장(Total length)을 측정하였다. 난 발생 과정 및 자치어의 성장단계의 표기와 용어는 Russel (1976), Kim *et al.* (2011), Okiyama (2014)을 따랐다.

결 과

1. 난의 형태 및 특성

Stage A. *G. strigatus*의 성숙란은 원형으로 평균 난경이 1.16~1.33 mm (평균 1.24 mm, n=30)이며, 수정란은 수정 직후 수분을 흡수하면서 팽창하기 시작하여 수정 후 10분이 경과하면 난막과 난황 사이에 위란강 형성이 완료되었다. 수정란은 불투명한 침성점착란으로 세포질에 유구(Oil droplets)가 존재하지 않았으며, 수정란의 평균 난경은 1.66~1.88 mm (평균 난경 1.76 mm, 30)이었다(Fig. 1A).

2. 난 발생 과정

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

1) Step I. 동물극으로의 세포질 응집(zygote)

Stage B. 수정 후 30분이 경과하면 세포질이 동물극으로 응집이 진행되어 배반(blastodisc)이 형성되었다(Fig. 1B).

2) Step II. 난할과정(cleavage)

Stage C. 수정 후 50분에 배반의 중앙 부분이 수직으로 이등분되어 2세포기로 이행하였다(Fig. 1C).

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

Stage E. 4세포기 이후 20분 간격으로 난할이 이루어져 수정 후 1시간 30분 후 8세포기에 도달하였다(Fig. 1E)

Stage F. 수정 후 1시간 50분에 16세포기에 도달하였다(Fig. 1F).

Stage G. 수정 후 2시간 10분 후 32세포기에 도달하였다(Fig. 1G).

Stage H. 수정 후 2시간 30분을 전후하여 64세포기에 도달하였다(Fig. 1H).

3) Step III. 포배형성과정(blastula)

Stage I. 할구의 크기가 지속적으로 작아지고 세포수가 증가하

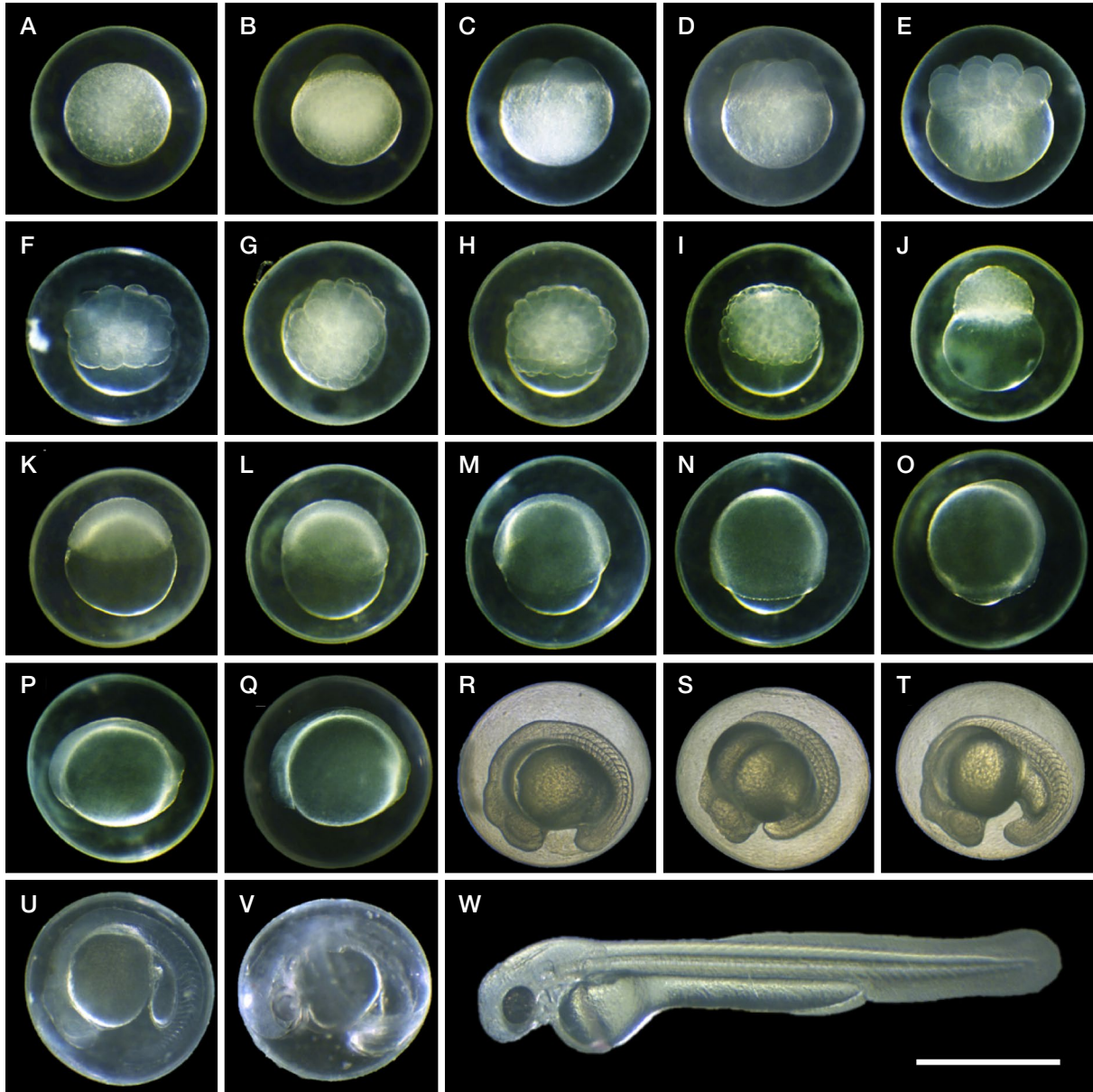


Fig. 1. Egg development of *Gnathopogon strigatus*. The animal pole is located on the top for the cleavage stages. A~E stage is views are shown during early cleavage stages. F~I stage is upper views are shown during cleavage stages. Face views are shown during blastula stages. After the gastrula stage, the views are of the embryo's left side (Scale bar = 1.0 mm).

여 수정 후 2시간 50분에 상실기에 도달하였다(Fig. 1I).

Stage J. 수정 후 3시간 30분을 전후하여 배반의 테두리가 식물극을 수평으로 덮어 포배기에 도달하였다(Fig. 1J).

4) Step IV. 낭배형성과정(Gastrula)

Stage K. 수정 후 8시간 30분에 배반엽이 난황의 1/3을 덮게 되어 30% epiboly 시기에 도달하였다(Fig. 1K).

Stage L. 수정 후 9시간을 전후하여 피부 현상이 식물극 쪽으로 점차 확장되어 배반엽이 난황의 1/2을 덮어 50% epiboly 시기

에 도달하였다(Fig. 1L).

Stage N. 수정 후 10시간 15분을 전후하여 배반엽이 난황의 2/3을 덮어 70% epiboly 시기에 접어들었다(Fig. 1N).

Stage O. 수정 후 약 11시간 15분을 전후하여 배반엽이 난황의 90%를 덮어 90% epiboly 시기에 접어들었다(Fig. 1O).

Stage P. 이후 발생을 계속하여 수정 후 13시간 20분을 전후하여 난황의 가장자리로 투명한 배체(embryo)가 희미하게 나타났 다(Fig. 1P).

Table 1. Time required for embryonic stages of *Gnathopogon strigatus* at 23 ± 1°C

	Stage	Elapsed		Characters	Fig. 1
		Hrs	Min		
Zygote period	Insemination	00	00		
	Swelling	00	10		A
	Blastodisc	00	30		B
Cell cleave period	2 cells	00	50	2 blastodisc is cleavage	C
	4 cells	01	10	2 × 2 array of blastomeres	D
	8 cells	01	30	2 × 4 array of blastomeres	E
	16 cells	01	50	4 × 4 array of blastomeres	F
	32 cells	02	10	4 × 8 array of blastomeres	G
	64 cells	02	30	8 × 8 array of blastomeres	H
Blastula period	128 cells	02	20		I
	Morula				J
	Blastula	03	05		
Gastrula period	Early gastrulation	08	30	50% epiboly	M
	Middle gastrulation	10	15	70% epiboly	N
	Late gastrulation	11	15	90% epiboly	O
Embryonic period	Formation of the embryo	13	20		P
	4~5 myotomes	14	00	Formation of optic vesicles	Q
	12~14 myotomes	22	00	Formation of eye lens and Kupper's vesicles	R
	14~18 myotomes	22	40	Tail begin to extend	S
	18~20 myotomes	24	00	Disapper Kupper's vesicles	T
	25~29 myotomes	29	00	Formation of heart	U
	32~34 myotomes	51	00	Black pigmentation in eyes	V
Hatching period	Hatching start	54	00		
	Hatching complete	57	00		W

5) Step V. 기관형성과정(segmentation)

Stage Q. 수정 후 14시간을 전후하여 난황 위에 유백색을 띠는 배체 (embryo)의 형태가 뚜렷하게 나타났다. 배체의 머리 부분에 안포가 형성되기 시작하였으며, 4~5개의 근절이 관찰되었다 (Fig. 1Q).

Stage R. 수정 후 22시간을 전후하여 안포에 렌즈가 형성되고, 배체의 꼬리 부분에 Kupper's vesicle가 형성되었다. 근절의 수는 12~14개로 개체에 따라 차이가 나타났다 (Fig. 1R).

Stage S. 수정 후 22시간 40분을 전후하여 배체의 꼬리가 난황에서 분리되기 시작하였으며 근절은 14~18개로 개체에 따라 차이를 보였다 (Fig. 1S).

Stage T. 수정 후 24시간을 전후하여 배체의 운동이 관찰되고 안포 뒤쪽으로는 이포가 형성되었다. 배체의 꼬리에 관찰되던 Kupper's vesicle가 사라지고 근절은 18~20개로 개체에 따라 차이를 보였다 (Fig. 1T).

Stage U. 수정 후 29시간을 전후하여 꼬리가 난황에서 완전하게 분리되었으며, 심장이 형성되어 고동하기 시작하였다 (Fig. 1U).

Stage V. 수정 후 51시간을 전후하여 꼬리가 길게 신장되었으며, 안구가 흑색소포에 의해 검은색으로 착색되었다 (Fig. 1V).

6) Step VI. 부화(hatching)

Stage W. 수정 54시간 후 배체가 난막을 꼬리 부분부터 뚫고 부화하기 시작하였고 수정 후 57시간을 전후하여 부화가 완료되었다 (Fig. 1W).

3. 자어 및 치어의 형태 발달

1) Step I. 난황자어기(yolksac larva)

Stage A. 부화 직후의 자어는 전장이 4.1~4.7 mm (평균 4.4 mm, n = 20)로 자어의 등지느러미, 뒷지느러미 및 꼬리지느러미는 막지느러미로 서로 연결되어 있었다. 눈을 제외한 몸 전체에서 흑색소포가 관찰되지 않았으며, 체색은 난황을 포함하여 무색으로 투명하였다. 체측에는 근절이 발달되어 있으며 근절의 수는 32~34개로 개체마다 차이를 보였다 (Fig. 2A).

Stage B. 부화 후 1일째의 자어는 전장 4.8~5.3 mm (평균 5.1 mm, n = 20)로 머리가 난황으로부터 완전히 분리되어 앞쪽을 향하게 되었다. 눈 아래로 입이 형성되기 시작하였으며, 항문은 발달되지 않았다. 원형의 가슴지느러미가 발달되었으며, 난황의 위쪽으로 작은 점 모양의 흑색소포가 일부 관찰되었다. 이 시기 부화 자어는 활발한 수영력을 갖지 못하였다 (Fig. 2B).

Stage C. 부화 후 2일째의 자어는 전장 5.0~5.4 mm (평균 5.2 mm, n = 20)로 막지느러미 폭이 증가하였다. 얇은 소화관은 난황

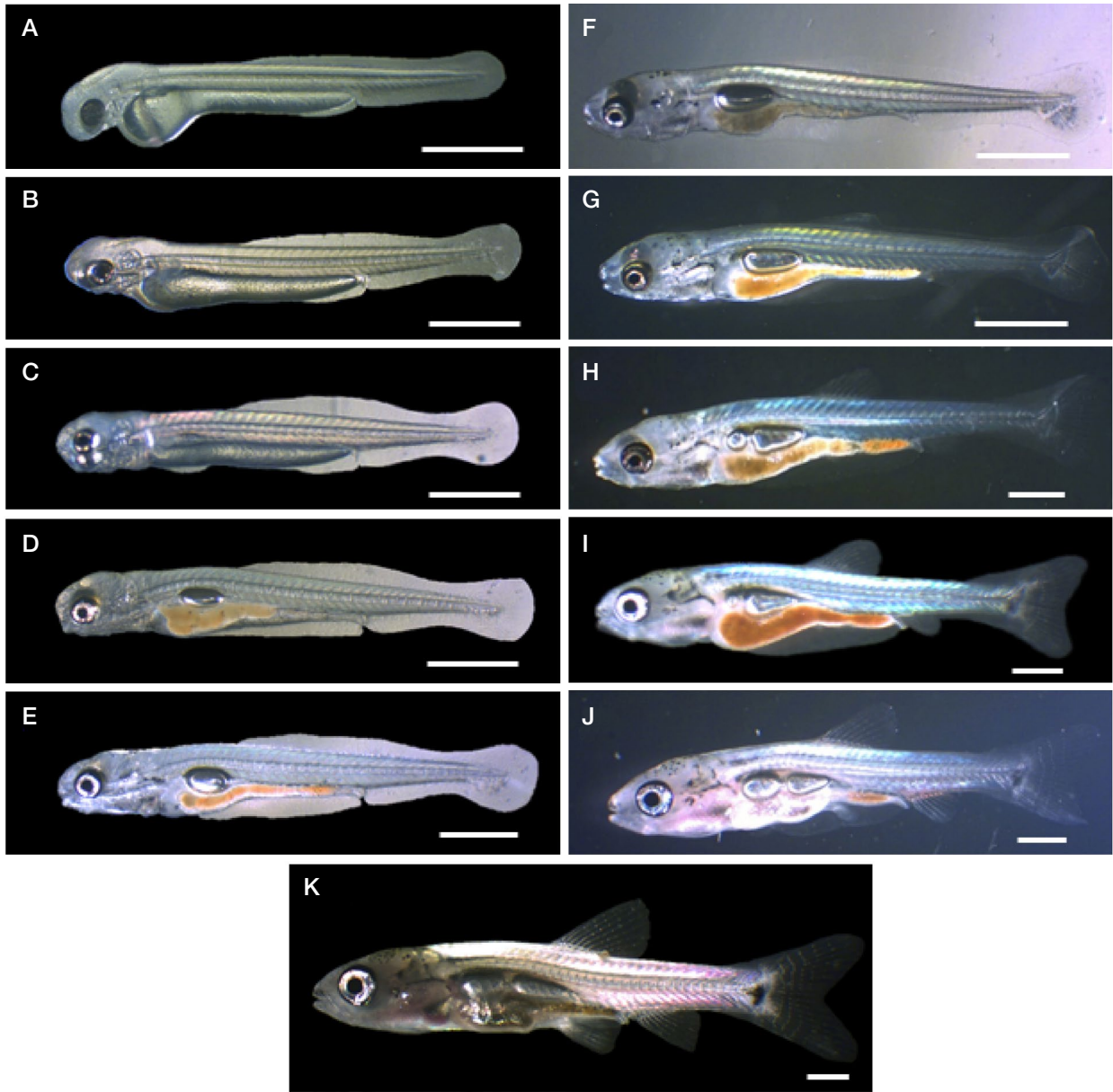


Fig. 2. Larva and Juvenile development of *Gnathopogon strigatus*. A~C stage is Yolksac larva; D,E stage is prelarva; F,G stage is flexion larva; H~J stage postflexion larva; K stage juvenile. The white bar indicates 1 mm.

뒤 쪽으로 신장되어 그 끝에 항문이 발달되기 시작하였다(Fig. 2C).

2) Step II. 전기자어기(prelarva)

Stage D. 부화 후 4일째의 자어는 전장 5.4~5.9 mm (평균 5.6 mm, n=20)로 입과 항문이 열리고 brine shrimp (*Artemia* sp.) 유생을 섭취하기 시작하였다. 1개의 부레가 타원형으로 신장되어 척색이 위쪽을 향하여 휘게 되었다. 항문 뒤쪽부터 꼬리 아래까지 1열의 흑색소포가 나타났다(Fig. 2D).

Stage E. 부화 후 5일째의 자어는 5.4~6.5 mm (평균 6.1 mm,

n=20)로 두정부, 세개부, 심장 앞쪽에 흑색소포가 발현하였으며, 소화관 위쪽에 1열의 흑색소포가 발현하여 꼬리 아래쪽의 흑색소포와 연결되었다(Fig. 2E).

3) Step III. 중기자어기(flexion larva)

Stage F. 부화 후 10일째의 자어는 7.5~8.6 mm (평균 8.1 mm, n=20)로 척색말단의 굴곡이 시작되고, 꼬리지느러미에 기조가 형성되기 시작하였다. 세개부에 아가미 덮개가 발달하였으며, 부레는 가로 방향으로 신장되었다. 두정부와 세개부의 흑색소포가 증가하였다(Fig. 2F).

Stage G. 부화 후 12일째의 자어는 7.2~9.4 mm (평균 8.6 mm, n=20)로 막지느러미 아래에서 등지느러미가 발달하기 시작하였다(Fig. 2G).

4) Step IV. 후기자어기(postflexion larva)

Stage H. 부화 후 16일째의 자어는 8.2~9.7 mm (평균 9.1 mm, n=20)로 척색말단의 굴곡이 완료되었고 1개의 부레가 두 개로 분할되어 발달하기 시작하였다. 등지느러미에 기조는 3~8 개로 각 개체의 성장에 따라 차이를 보였으며, 항문 뒤 쪽 막지느러미 아래에서 뒷지느러미가 발달하기 시작하였다(Fig. 2H).

Stage I. 부화 후 28일째의 자어는 전장 8.8~9.9 mm (평균 9.5 mm, n=20)로 등지느러미와 꼬리지느러미가 정수에 도달하였다. 두정부의 흑색소포는 작은 점 모양으로 분화되었고 세개부에 작은 점 모양의 흑색소포가 “λ (Lambda)”의 형태를 띠며 진하게 발현되었다. 꼬리자루 아래 작은 흑색소포들이 모여 큰 점 모양의 형태를 띠었다(Stage 2I).

Stage J. 부화 후 31일째의 자어는 전장 8.6~12.1 mm (평균 9.8 mm, n=20)로 뒷지느러미가 정수에 도달하고 복강의 막지느러미에 배지느러미가 발달하기 시작하였으며, 부레의 발달이 거의 완료되었다. 또한 상악의 끝단에 흑색소포가 발현되기 시작하였다(Stage 2J).

5) Step V. 치어기(juvenile)

Stage K. 부화 후 38일째의 자어는 전장 11.3~15.5 mm (평균 13.3 mm, n=20)로 배지느러미가 정수에 도달하여 각 지느러미의 기조수는 D: III, 7~8; A: III, 11~12; V: I, 6~7; C. 20~24로

모든 지느러미가 정수에 도달하였다(Stage 2K).

4. 자치어의 성장

G. strigatus 자어의 부화 직후부터 치어기로 이행하는 부화 후 38일까지 성장 발육 단계별 전장 변화는 Fig. 3에 나타내었다.

고 찰

본 연구는 우리나라에 서식하는 *G. strigatus*의 난 발생 과정 및 자치어의 형태 발달에 관하여 기록하였다.

1. 근연종과 난 형태 및 부화시간 비교

*G. strigatus*의 수정란은 강한 점착성을 가지는 침성점착란으로 같은 모래무지아과에 속한 종들과 유사한 형태를 보였다. 모래무지아과 어류 중 *Pseudorasbora*속의 *P. parva*는 수초나 돌 표면에 알을 점착하는 것으로 알려져 있으며, *Pungtungia*속의 *P. herzi*, *Pseudopungtungia*속 *P. nigra*와 *P. tenuicarpa*는 *Coreoperca herzi*의 산란장에 탁란을 하거나 작은 돌 틈에 산란하는 것으로 밝혀져 있다(Chae et al., 2019). *G. strigatus*는 이들과 서식지를 공유하고 있지만 정확한 산란 장소 및 번식 전략을 확인하기 위해서는 *G. strigatus*의 산란 습성 관찰 및 자연상태에서 산란 후 방란 된 수정란을 채취하여 확인하는 방법 등으로 이들의 산란 생태에 대한 정밀한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 확인된 *G. strigatus*의 난의 크기는 1.7~1.9 mm

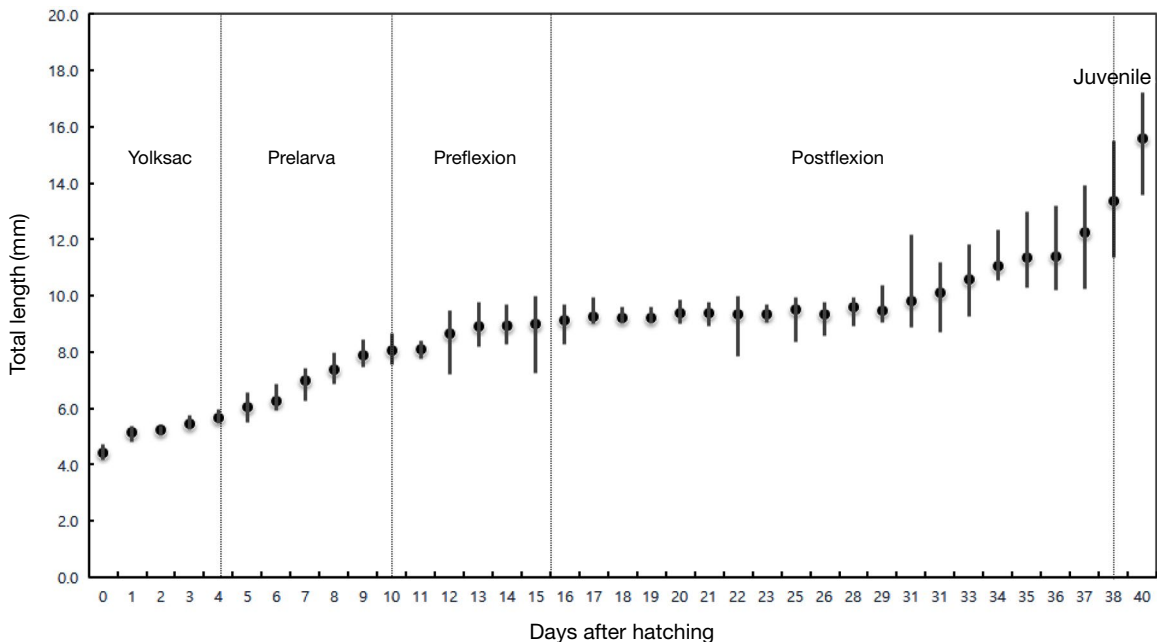


Fig. 3. Growth of larvae and juveniles after hatching in day of *Gnathopogon strigatus*. Circles and bars represent the mean and SD.

(1.8 mm)이며 같은 모래무지아과에 속한 어류 중 *P. herzi* 2.0~2.3 mm (2.1 mm), *P. nigra* 1.9~2.2 mm (2.2 mm), *P. tenuicorpa* 1.8~2.1 mm (1.96 mm)에 비해 작았으나, *Coreoleuciscus splendidus* 1.5~1.7 mm (1.6 mm), *C. aeruginos* 1.6~1.8 mm (1.7 mm)로 쉬리 속 어류와 난의 크기가 유사하였다(Lee et al., 2002; Lee et al., 2004; Ko et al., 2012; Song et al., 2019a, b). 부화시간의 경우 *G. strigatus*와 근연종 중 *P. tenuicorpa*는 본 연구와 유사한 수온인 23°C에서 부화까지 240시간이 소요되었고, *P. nigra*는 20±2°C 수온에서 179시간이 소요되었으며, *C. splendidus*와 *C. aeruginos*는 20±1°C 수온에서 각각 98시간과 94시간이 소요되어 본 연구의 *G. strigatus*의 난이 부화까지 54시간이 소요된 것에 비해 매우 긴 시간이 소요되었다. 어류의 난 내 개체발생 시간은 수온 등의 환경요인 외에도 난의 크기에 따라 차이를 보이며 난의 크기가 작을수록 근연종들에 비해 부화 시간이 빠른 경향을 보이는 것으로 알려져 있다(Back, 1978; Song et al., 2008). 하지만 *G. strigatus*는 난의 크기가 비슷한 근연종에 비해 부화 시간이 짧았는데 이는 빠른 부화와 성장을 통하여 생존율을 높이는 번식 전략의 일환으로 판단된다.

*G. strigatus*의 난 발생 과정 중 초기생활사가 밝혀진 모래무지아과의 근연종들과의 차이에서는 *P. nigra*는 9~10개, *P. tenuicorpa*는 20~21, *Squalidus gracilis majimae*와 *S. multimaculatus*는 각각 25~26, 26~28개 근절이 발달하였을때, 안포에 렌즈가 형성되지만(Lee et al., 2004; Park et al., 2005; Ko et al., 2012; Song et al., 2017) *G. strigatus*의 렌즈 형성 시기에 근절 개수는 12~14개로 근연종들과 차이를 보였다. 그 밖에 잉어목 어류의 발생 과정 중 배체의 꼬리 부분에 나타나는 Kupper's vesicle의 형성 시기에서 차이를 보면, *P. tenuicorpa*는 안포에 렌즈가 형성되면서 Kupper's vesicle가 꼬리에 나타나고 *G. strigatus* 또한 안포에 렌즈가 형성되는 시점에 Kupper's vesicle가 형성되었지만 이 시기 근절의 개수에서 차이를 보여 구분되었다. 또한 근연종인 *S. multimaculatus*의 Kupper's vesicle 형성 시기는 안포가 형성되며 Kupper's vesicle가 나타나고 이 시기 근절 개수 또한 20~22개로 차이를 보여 *G. strigatus*와 잘 구분되었다. 이처럼 근연종 간에 난 내 발생 과정 중 Kupper's vesicle의 형성 시기가 조금씩 차이를 보일 것으로 판단되지만 이전에 진행된 *P. herzi*, *P. nigra*, *S. gracilis majimae*의 초기생활사 연구에서는 Kupper's vesicle의 형성 유무와 형성 시기에 대한 언급이 없어 이들 종에 대한 보다 자세한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

흑색소포는 부화 직전 단계의 어란과 자치어 시기의 중 동정에 유용한 형질로 알려져 있다(Kim et al., 2011). 부화 기간이 1~2일로 짧은 일부 담수어류(*Microphysogobio yaluensis*, *Cobitis choii*, *Koreacobitis naktongensis*)는 부화 후 자어의 눈이 검게 착색되는 것으로 알려져 있으나(Back, 1978; Song et al., 2008; Song et al., 2009), *G. strigatus*와 같은 모래무지아과

에 속한 대부분의 어류(*P. herzi*, *P. nigra*, *S. gracilis majimae*, *S. multimaculatus*, *Gobiobotia macrocephala*, *G. naktongensis*)는 부화 시간이 긴 종과 짧은 종 모두 난 발생 과정 말기에 눈이 검게 착색되는 특징을 보였다(Lee et al., 2002, 2004; Park et al., 2005; Ko et al., 2011b, 2013; Song et al., 2017). *G. strigatus* 또한 난 발생 말기에 눈이 검게 착색되어 이들 종들과 공통적인 형질을 보였다. 반면 *P. nigra*는 부화 전 머리와 등에 흑색소포가 발달된 상태로 부화하며(Lee et al., 2004), *S. gracilis majimae* 또한 두정부와 꼬리자루 가장자리에 흑색소포가 발달하는 것으로 알려졌지만(Park et al., 2005) *G. strigatus*는 눈을 제외한 몸 전체에 흑색소포가 분포하지 않아 차이를 보였다.

2. 근연종과의 자치어 시기의 형태 비교

부화 직후 *G. strigatus* 자어의 전장은 4.1~4.7 mm (평균 4.4 mm)로 근연종인 *P. herzi* 부화자어의 전장이 5.9~6.3 mm (평균 6.0 mm), *P. nigra*와 *P. tenuicorpa* 부화 자어의 전장이 각각 5.7~5.9 mm (평균 5.8 mm)와 8.2~8.9 mm (평균 8.6 mm)로(Lee et al., 2004; Ko et al., 2012) *G. strigatus*의 부화자어는 *Pungtungia*속과 *Pseudopungtungia*속 어류에 비하여 작았지만, *S. gracilis majimae*와 *S. multimaculatus* 부화 자어의 전장은 각각 3.3 mm와 2.5~3.1 mm (평균 2.8 mm)로(Park et al., 2005; Ko et al., 2012) 이들과 명확한 차이를 보여 *G. strigatus* 부화자어는 다른 근연종들과 부화자어의 전장에서 구분되었다. 또한 이들의 자치어 시기 차이를 확인해보면 *P. nigra*는 부화 직후 몸 전체에 흑색소포가 불규칙하고 입과 항문이 열리면서 흑색소포가 체측을 따라 출현하였으며 후기자치어기에 주둥이에서 눈을 지나 꼬리자루까지 흑색소포가 발달하지만(Lee et al., 2004) *G. strigatus*는 부화자어에서 치어기로 이행하는 모든 시기에 체측에 흑색소포가 분포하지 않아 *P. nigra*와 흑색소포의 분포에서 차이를 보였다. *P. tenuicorpa*와의 차이에서는 *P. tenuicorpa* 부화자어는 항문 발달 전 난황 끝이 몸의 56.3~58.3%에 도달하지만(Ko et al., 2012) *G. strigatus* 부화자어는 항문이 발달 전 난황 끝이 몸의 63.0~67.1%에 도달하여 *P. tenuicorpa* 부화자어의 난황보다 가늘고 긴 형태를 보였다. 또한 *P. tenuicorpa* 자어의 부레는 척색말단이 굴곡이 시작되는 시기에 2개로 나뉘었지만 *G. strigatus*의 부레는 척색말단의 굴곡이 완료된 후기자치어기에 부레가 2개로 분할되었다. 이후 *G. strigatus*는 꼬리자루 아래 점 모양의 흑색소포가 발현되고 *P. tenuicorpa*는 치어기에 흑색소포가 주둥이부터 눈을 가로질러 꼬리자루에 이르는 긴 띠를 형성하여(Ko et al., 2012) 명확하게 구분되었다.

*G. strigatus*와 근연종이며, 물개 속(*Squalidus*) 어류 중 유일하게 자치어의 형태가 보고된 *S. multimaculatus*는 난황자어기에 난황에 나뭇가지 모양의 흑색소포가 발달하여(Song et al., 2017) 난황의 위쪽에 흑색소포가 일부 분포하는 *G. strigatus*의

Table 2. Comparisons of egg developmental characteristic in Gobioninae fishes

Species	Egg size (mm)	Newly hatched larvae size (mm)	Reference
Genus <i>Gnathopogon</i> <i>Gnathopogon strigatus</i>	1.7~1.9 (1.8)	4.1~4.7 (mean 4.4)	Present study
Genus <i>Pungtungia</i> <i>Pungtungia herzi</i>	2.0~2.3 (2.1)	5.9~6.3 (mean 6.0)	Lee <i>et al.</i> , 2002
Genus <i>Pseudopungtungia</i> <i>Pseudopungtungia nigra</i>	1.9~2.2 (2.1)	5.7~5.9 (mean 5.8)	Lee <i>et al.</i> , 2004
<i>Pseudopungtungia tenuicorpa</i>	1.8~2.1 (2.0)	8.2~8.9 (mean 8.6)	Ko <i>et al.</i> , 2012
Genus <i>Coreoleuciscus</i> <i>Coreoleuciscus splendidus</i>	1.5~1.7 (1.6)	5.0~5.7 (mean 5.3)	Lee <i>et al.</i> , 2002 Song <i>et al.</i> , 2019a
<i>Coreoleuciscus aeruginos</i>	1.6~1.8 (1.7)	5.2~5.7 (mean 5.5)	Song <i>et al.</i> , 2019b
Genus <i>Sarcocheilichthys</i> <i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>	2.5~2.9 (2.6)	9.6	Song <i>et al.</i> , 2019a Song <i>et al.</i> , 2019b
Genus <i>Squalidus</i> <i>Squalidus gracilis majimae</i>	2.9	3.3	Song <i>et al.</i> , 2019a Park <i>et al.</i> , 2005
<i>Squalidus multimaculatus</i>	0.8~0.9 (0.8)	2.5~3.1 (mean 2.8)	Song <i>et al.</i> , 2017

난황자어기에서 차이를 보였다. 또한 *S. multimaculatus* 자어는 난황이 완전히 흡수되는 전기자어기부터 체측의 중앙에 흑색소포가 발견되기 시작하였으며 척삭말단의 굴곡 중인 중기자어기 미병부에 흑색소포가 밴드 모양의 형태로 발견되어 (Song *et al.*, 2017) 전기 및 중기 자어시기 머리 일부와 소화관에서 미병부 아래에 1열로 흑색소포가 분포하는 *G. strigatus*와 차이를 보였다. 이후 치어기에는 *S. multimaculatus*의 등지느러미와 뒷지느러미의 기초에 밴드 형태의 흑색소포가 나타나고 배지느러미 기저 뒤쪽과 뒷지느러미 기저에 흑색소포가 진하게 밀집되지만 (Song *et al.*, 2017) *G. strigatus*의 자어는 각 지느러미 기저에 작은 흑색소포만 분포하여 명확하게 구분되었다. 어류의 초기생활사에 대한 연구는 난의 형태적, 생태적 특징과 더불어 배 발생 및 초기 성장과정을 거치면서 나타나는 종의 고유 형질과 발달 특성 등 어종에 대한 많은 정보를 담고 있으며 난 발생 과정 및 자치어의 발달 과정에서 발생학적인 특징을 파악하여 유사종과의 형태적 차이의 확인 및 분류학적 유연관계를 규명하는 데 사용된다 (Blaxter, 1974; Blaon, 1985). *G. strigatus*의 자치어는 모래무지아과의 일부 종(*P. nigra*, *P. tenuicopa*, *S. multimaculatus*)와 형태적으로 비교가 가능하지만 *G. strigatus*와 근연종인 *Squalidus*속 어류 중 *S. gracilis majimae*와 *S. multimaculatus* 2종만 초기생활사가 보고되어 (Park *et al.*, 2005; Song *et al.*, 2017) 있어 *S. japonicus coreanus*와 *S. chankaensis tsuchigae* 2종에 대한 초기생활사 연구를 통해 유사종 간 어란 및 자치어에 대하여 종까지 동정할 수 있는 명확한 형태 형질의 확인이 필요할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 난과 자치어의 형태 및 생활사가 밝혀지지 않은 *G.*

*strigatus*의 초기생활사에 대하여 연구하였다. *G. strigatus*의 친어는 경기도 남양주시의 왕숙천에서 확보하였다. 성숙된 암컷 친어에 HCG (human chorionic gonadotropin)를 10 IU/g의 농도로 주사하여 성숙란을 얻었으며, 습식법으로 인공 수정하였다. 수정란은 불투명한 흰색 원형의 침성점착란으로 직경은 1.66~1.88 mm이었다. 수정란은 수온 23±1°C에서 수정 54시간 후 부화가 완료되었으며, 부화자어의 전장은 4.1~4.7 mm로 무색투명하였다. 부화 4일 후 자어는 5.4~5.9 mm로 입과 항문이 열리고 알테미아를 섭식하여 전기자어기로 이행하였다. 부화 10일 후 자어는 7.5~8.6 mm로 척삭말단이 굴곡되고 꼬리지느러미의 기초가 형성되어 중기자어기로 이행하였다. 부화 16일 후 자어는 8.2~9.7 mm로 척삭말단의 굴곡이 완료되었고 부레가 두 개로 분할되어 후기자어기로 이행하였다. 부화 38일 후 모든 지느러미의 기초가 정수에 도달하여 치어단계로 이행하였다.

사 사

본 연구는 2019년도 국립수산물과학원 수산시험연구사업 내수면 수산자원 보호구역 환경 및 수산자원 연구(R2019028)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Back, Y.G. 1978. On the life history of *Microphysogobio yaluensis* (Mori). Korean J. Limnol., 11: 43-50.
- Bae, E.H. and J.H. Jung. 2015. Prediction of Shift in Fish Distributions in the Geum River Watershed under Climate Change. Eco. Res. Ins., 2: 198-205 (in Korean)
- Balon, E.K. 1985. Early Life Histories of Fishes: New Developmental, ecological and evolutionary perspectives. Dr. W. Junk

- publisher., Dordrecht, 280pp.
- Bang, S.J., Y.P. Hong and S.S. Choi. 1995. Structure and function of aquatic ecosystem in Kum-river: Freshwater Fish. Res. Environ. Sci. Chungnam Nat. Univ., 13: 84-91. (in Korean)
- Blexter, J.H.S. 1974. The early life history of fish. Spring-Verlag, Berlin, 765pp.
- Bogutskaya, N.G. and A.M. Naseka. 1996. Cyclostomata and fishes of Khanka Lake drainage area (Amur river basin). An annotated check-list with comments on taxonomy and zoogeography of the region. Zool. Inst. Russ. Acad. Sci., 89pp.
- Byeon, H.K. 2013. The fish fauna changes and characteristics populations of *Zacco koreanus* in Cheonggye stream after the rehabilitation, Korea. Korean J. Environ. Ecol., 27: 695-703. (in Korean)
- Chae, B.S., H.S. Song and J.Y. Park. 2019. A field guide to the Freshwater fishes of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, pp. 101-105. (in Korean)
- Froese, R. and D. Pauly. 2019. FishBase. World wide web electronic publication. www.fishbase.org, version (02/2019).
- Fujioka, Y. 2006. Patterns of sex ratio response to water temperature during sex determination in honmoroko *Gnathopogon caerulescens*. Fish. Sci., 72: 1034-1041.
- 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. Yosun Natl. Univ., 3: 67-76. (in Korean)
- Hur, J.W., J.W. Park, S.U. Kang and J.K. Kim. 2009. Estimation of fish fauna and habitat suitability index in the Geum River basin. Korean J. Environ. Ecol., 23: 516-527. (in Korean)
- Hwang, G.H., S.R. Jeon, M.O. Kim and C.S. Haong. 1992. Fish fauna of the lower area of Kum-river. J. Basic. Sci. Sang Myung Univ., 6: 53-74. (in Korean)
- Kakioka, R., T. Kokita, H., Kumada, K., Watanabe and N. Okuda. 2013. A RAD-based linkage map and comparative genomics in the gudgeons (genus *Gnathopogon*, Cyprinidae). BMC Genomics, 14: 32.
- Kikko, T., D. Ishizaki, K. Ninomiya, Y. Kai and Y. Fujioka. 2015. Diel patterns of larval drift of honmoroko *Gnathopogon caerulescens* in an inlet of Ibanako Lagoon, Lake Biwa, Japan. J. Fish Biol., 86: 409-415.
- Kikko, T., H. Okamoto, M. Ujiie, D. Ishizaki, T. Usuki, M. Nemoto, J. Saegusa, Y. Kai and Y. Fujioka. 2014. Spawning ecology of Honmoroko, *Gnathopogon caerulescens*, in inlets of the Nishinoko lagoon, Lake Biwa. Japanese J. Ichthyol., 61: 1-8. (in Japanese)
- Kikko, T., T. Usuki, D. Ishizaki, Y. Kai and Y. Fujioka. 2015. Relationship of egg and hatchling size to incubation temperature in the multiple-spawning fish *Gnathopogon caerulescens* (Honmoroko). Environ. Biol. Fish., 98: 1151-1161.
- Kim, D.H., D.J. Kim, S.J. Yoon, H.G. Hwang, E.O. Kim, S.G. Son and J.K. Kim. 2008. Development of the eggs, larvae and juveniles by artificially-matured pacific mackerel, *Scomber japonicus* in the Korean waters. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 41: 471-477. (in Korean)
- 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, Y.U., Y.S. Park and D.S. Kim. 1987. Development of eggs, larvae and juveniles of loach *Misgurnus mizolepis* Günther. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 20: 16-23. (in Korean)
- 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. (in Korean)
- 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: 196-205. (in Korean)
- 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 (in Korean)
- Ko, M.H., I.R. Lee and I.C. Bang. 2013. Egg Development and early life history of endangered species *Gobiobotia naktongensis* (Pisces: Cyprinidae), Korean J. Ichthyol., 25: 9-16. (in Korean)
- Kottelat, M. 2006. Fishes of Mongolia: A check-list of the fishes known to occur in Mongolia with comments on systematics and nomenclature. The International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank, Washington D.C., U.S.A., 183pp.
- 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. Yosun Natl Univ., 4: 115-126. (in Korean)
- 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. (in Korean)
- Maki, I. 1966. Population studies of honmoroko, *Gnathopogon caerulescens sauvage*, in Lake Biwa, Japan. I. On the critical life-cycle stages related to the annual fluctuation of the population. Japanese J. Ecol., 16: 183-190. (in Japanese)
- Maki, I. 1967. Population studies of honmoroko, *Gnathopogon caerulescens*, Pisces, in Lake Biwa, Japan, III. On the seasonal fluctuation of the fat content in the fish body of the under-yearling and the "over-wintering" of them. Japanese J. Ecol., 17: 199-205. (in Japanese)
- Maki, I. 1968. Studies on the population dynamics of *Gnathopogon caerulescens sauvage* (pisces), in Lake Biwa, Japan. Jap. J. Ecol., 18: 158-66. (in Japanese)
- Lee, K.Y., Y.S. Jang and J.S. Choi. 2006. Fish fauna and inhabitation of legally protected species in the Pyeongchang River. Korean J. Environ. Ecol., 20: 331-339. (in Korean)
- Misheel, B., K.J. Kim, K.H. Min and M.H. Jang. 2019. Swimming

- performance evaluation of four freshwater fish species from the South Korea. Korean J. Environ. Ecol., 52: 118-125. (in Korean)
- Mukai, Y. 1995. Cupular growth of embryonic free neuromasts in the Willow Shiner *Gnathopogon elongatus caerulescens* and the pattern in the changes in cupular length after hatching. Fish. Sci., 61: 521-522.
- Mukai, Y. 2006. Role of free neuromasts in larval feeding of willow shiner *Gnathopogon elongatus caerulescens* Teleostei, Cyprinidae. Fish. Sci., 72:705-709.
- Nakanishi, H.T., S. Tsusa, H. Fukui and T. Hirayama. 1987. Correlative studies on changes in lipid composition of gills and uptake of chemicals of willow shiner fish (*Gnathopogon caerulescens*) by exposure to detergent. Comp. Biochem. Physiol. C., 86: 339-341.
- Okiyama, M. 2014. An atlas of the early stage fishes in Japan. Tokai Univ. Press, Tokyo, Japan, pp. 25-43. (in Japanese)
- 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. (in Korean)
- Russell, F.S. 1976. The eggs and planktonic stages of British marine fishes. Academic Press, London, U.K., pp. 22-29.
- 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. (in Korean)
- Song, H.Y., K.M. Kim, J.S. Ji, M.M. Nam and H.J. Jeon. 2019a. Morphological development of egg and larvae of *Coreoleuciscus splendidus* (Gobioninae). In: Proc. of Biannual Meeting of the Ichthyological Society of Korea, Chonju, Korea, May. 30~June. 1 2019, p. 175.
- Song, H.Y., K.M. Kim, S.Y. Kim, D.H. Kim and H.G. Hwang. 2019b. Morphological development of egg and larvae of *Coreoleuciscus aeruginosa* (Gobioninae). In: Proc. of Biannual Meeting of the Ichthyological Society of Korea, Chonju, Korea, May. 30~June. 1 2019, p. 78.
- 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* (Gobioninae) Korean J. Ichthyol., 29: 52-61. (in Korean)
- Song, H.Y., W.J. Kim, W.O. Lee and I.C. Bang. 2008. Morphological development of egg and larvae of *Iksookimia choui* (Cobitidae). Korean J. Limnol., 41: 104-110. (in Korean)
- Song, T.K. and J.K. Kim. 1996. The freshwater fish fauna in eight streams flowing into Yongsan Lake. Bull. Ins. Environ. Mokpo Nat. Univ., 13: 25-38. (in Korean)
- Tsuda, T., S. Aoki, M. Kojima and T. Fujita. 1992. Accumulation and excretion of pesticide used in golf courses by carp (*Cyprinus carpio*) and willow shiner (*Gnathopogon caerulescens*). Comp. Biochem. Phys. C Comp. Pharmacol. Toxicol., 101: 63-66.
- Zhu, S.Q. 1995. Synopsis of freshwater fishes of China. Jiangsu Science and Technology Publishing House, Nanjing, 550pp. (in Chinese)