

낙동강 수계 위천에 서식하는 긴몰개 *Squalidus gracilis majimae*의 난발생 및 자치어 형태발달

박재민 · 한경호^{1,*}

경상북도 토속어류산업화센터, ¹전남대학교 수산과학과

Development of Eggs, Larvae and Juveniles of the *Squalidus gracilis majimae* from Wicheon Stream, Nakdong-River by Jae-Min Park, Kyeong-Ho Han^{1,*} (Gyeongsangbuk-Do Native Fishes Business Center, Uiseong 37366, Republic of Korea; ¹Marine Technology Undergraduate, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea)

ABSTRACT The aim of this study was to investigate the early life history of *Squalidus gracilis majimae* by observing the development of the eggs and morphology of juvenile fish. *Squalidus gracilis majimae* used in this study were captured in 2021 June from a tributary flowing into Wicheon, located in Uiseong-gun, Gyeongsangbuk-do. For artificial insemination, ovaprim was injected at 0.5 mL/kg. Egg development occurred 12 h after injection. The size of mature eggs of *S. gracilis majimae* was 0.80~0.85 mm (0.83 ± 0.01 mm, $n=30$). Incubation time at $22 \pm 1^\circ\text{C}$ ranged from 62.5 to 69 h. The length of larvae immediately after hatching was 2.39~2.53 mm (2.44 ± 0.04 mm, $n=30$). On the 18th day after hatching, the larvae had a total length of 8.51~9.84 mm (8.95 ± 0.42 mm, $n=30$), and the tip of the spine was completely curved. On the 22nd day after hatching, the juvenile fish had a total length of 12.6~13.6 mm (13.0 ± 0.36 mm, $n=30$), with dorsal fins at iii7 and anal fins at i7. Egg size and hatched larvae size were similar for *S. gracilis majimae* and *S. multimaculatus*, and cupulae showed a singularity as it disappeared last among related species.

Key words: Gobioninae, *Squalidus gracilis majimae*, egg, larvae, juvenile

서론

어류의 난발생 및 초기생활사 연구는 인공증식 기술의 확립과 어족자원의 보존방안에도 활용되고 있으며 (Kim *et al.*, 1987; Kim *et al.*, 2008; Song *et al.*, 2009; Ko *et al.*, 2011), 생물체의 개체발생은 계통발생을 반복하는 특징을 가지고 있기 때문에 어류의 초기생활사 연구는 종의 특징을 구명하는 것은 물론 유사종과의 계통 및 분류학적 유연관계를 연구하는 데 중요한 기초 연구 자료로 활용되고 있다 (Blaxter, 1974; Balon, 1985; Kim *et al.*, 2014).

긴몰개 (*Squalidus gracilis majimae*)는 잉어목 (Cyprini-

formes) 모래무지아과 (Gobioninae) 몰개속 (*Squalidus*)에 속하는 고유아종으로 한반도에는 압록강에서 낙동강까지 서해와 남해로 흐르는 하천에 분포한다 (Chae *et al.*, 2019). 몰개속 어류는 크기가 소형인 일차 담수어류로서 전 세계에는 5종, 17아종이 보고되었으며 (Nelson *et al.*, 2016), 우리나라에 서식하는 몰개류는 모두 고유종 및 고유아종으로써 긴몰개를 비롯한 몰개 (*S. japonicus coreanus*), 참몰개 (*S. chakaensis tsuchigae*), 점몰개 (*S. multimaculatus*) 등 4종이 보고되었다 (Kim *et al.*, 2005; Chae *et al.*, 2019).

몰개속 어류는 분류학적 연구 (Banarescu and Nalbant, 1973; Kim and Lee, 1984), 난발생 (Park *et al.*, 2005a) 및 산란행동 (Park *et al.*, 2005b), 몰개의 개체군 생태 (Byeon, 2012), 점몰개 (Song *et al.*, 2017) 및 몰개 (Kim *et al.*, 2021)의 난발생과 자치어 형태발달 등 다양한 연구가 수행되었다. 긴몰개는 Park *et*

저자 직위: 박재민 (연구사), 한경호 (교수)

*Corresponding author: Kyeong-Ho Han Tel: 82-61-659-7163,

Fax: 82-61-659-7169, E-mail: aqua05@jnu.ac.kr

al. (2005a)에 의해 난발생 과정이 일부 보고되었을 뿐 초기생활사에 대한 연구는 부족한 실정이다.

지금까지 담수어류의 초기생활사에 관한 연구는 멸종위기 종 및 상업종을 제외하고는 많은 종이 난과 자치어 시기의 형태가 밝혀지지 않았으며 (Lee et al., 1998; Song et al., 2008, 2009; Ko et al., 2011), 모래무지아과 어류들은 매우 다양한 서식지 특징과 생활사를 가진 것으로 알려졌으나 초기생활사에 대해서는 일부 종에서만 연구가 진행되어 종 다양성 보존 및 분류학적 연구를 위한 기초자료 확보가 필요한 상황이다 (Banarescu and Nalbant, 1973; Kim et al., 2005; Ko et al., 2011; Kim et al., 2021). 따라서 본 연구에서는 우리나라 고유아종인 긴물개의 난발생 과정 및 자치어 형태발달을 관찰해 초기생활사를 규명하고 그 특징을 근연종과 비교하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험어 확보

연구에 사용된 실험어는 2021년 6월 경북 의성군 비안면에 위치한 위천으로 유입되는 소하천에서 통발로 포획 후 연구실로 운반하였다. 친어의 크기는 수컷 전장 5.2~6.6 cm (5.91 ± 0.53 cm, $n=10$), 암컷은 전장 4.5~5.5 cm (5.1 ± 0.39 cm, $n=10$)였다. 사육은 PVC 재질의 사각수조(1×1×1 m)에서 유수식으로 사육하였고, 사육수온은 21~23°C ($22 \pm 1^\circ\text{C}$)를 유지시켜 주었다.

2. 인공채란

인공채란을 위해 암·수 20마리 중 암컷은 복부가 불러있는 6마리와 수컷은 복부압박 시 정액이 확인되는 3마리를 선택하여 마취제 MS-222 (Ethyl 3-aminobenzoate methanesulfonate, Sigma Aldrich Co., St. Louis, USA)로 마취하였고, 성성숙 호르몬 Ovaprim (Syndel, Canada)을 어체중 1 kg당 0.5 mL 농도로 주사하였다. 채란은 멸균생리식염수(0.9% NaCl)가 페트리디쉬(Ø15 cm)에 있는 상태에서 주사 후 12시간부터 복부압박법으로 채란하였으며, 수컷의 정액은 같은 방법으로 채정해 성숙란과 혼합 후 깨끗한 물로 세란 하면서 습식법으로 수정하였다.

3. 난발생 및 자치어 형태발달

성숙란과 수정란은 30개씩을 선택해 만능투영기(Nikon JP V-12B, Japan)로 크기를 0.01 mm까지 측정하였고, 난발생 과정은 실체현미경(Nikon SMZ18, Japan)에 부착된 영상촬영 장치로 형태 및 발생 과정을 관찰하였다. 사육수온은 친어 사육수조와 동일한 조건을 유지해 주었다. 먹이는 난황 흡수 이후

부터 담수산 Rotifer (*Brachionus calyciflorus*)를 mL당 5~10 개체 정도 공급하였고, 부화 후 19일 이후부터는 알테미아 nauplius 부화 유생을 mL당 2~3개체 정도로 1일 2회 공급하였으며, 치어기에는 미립자 배합사료(Lovelarva, Japan)를 공급하였다. 자치어 형태발달은 매일 또는 5일마다 30마리를 무작위로 선택하여 크기측정 및 관찰하였다. 자치어의 단계별 구분은 Ji et al. (2020)에 따랐다.

결 과

1. 난의 형태 및 특징

긴물개의 난 형태는 원형으로 색깔은 연녹색을 띠었다. 난은 물에 가라앉는 성질을 띤 침성란으로 표면에는 점착성을 가지고 있었다. 성숙란의 크기는 0.80~0.85 mm (0.83 ± 0.01 mm, $n=30$)였고, 산란량은 640~2,048개 (평균 $1,322 \pm 575$ 개, $n=6$)였다.

2. 난발생 과정

난은 수정 후 15분이 지나면서 물을 흡수하기 시작하였고, 동물극과 식물극이 분리되었으며, 수정란의 크기는 0.87~0.98 mm (0.91 ± 0.04 mm, $n=30$)였다 (Fig. 1A). 수정 후 30분에는 동물극에 배반(1세포기)이 형성되었고 (Fig. 1B), 수정 후 1시간에는 동물극에 난할이 일어나 2세포기에 달하였다 (Fig. 1C). 수정 후 1시간 30분에는 경할이 되면서 4세포기에 달하였고 (Fig. 1D), 수정 후 2시간에는 난할과 경할이 반복되면서 8세포기에 달하였다 (Fig. 1E). 수정 후 2시간 30분에는 같은 과정을 통해 16세포기에 달하였고 (Fig. 1F), 수정 후 3시간 30분에는 세포의 분열 수가 증가하면서 32세포기에 달하였다 (Fig. 1G). 수정 후 5시간 30분에는 64세포기에 달하였고 (Fig. 1H), 수정 후 7시간에는 상실기 (Fig. 1I), 수정 후 7시간 30분에는 포배기 (Fig. 1J), 수정 후 8시간 30분에는 세포질이 식물극을 덮기 시작하면서 초기 낭배기에 달하였다 (Fig. 1K). 수정 후 10시간 30분에는 식물극의 50%를 세포질이 덮어 중기 낭배기에 달하였다 (Fig. 1L). 수정 후 13시간에는 식물극의 90%를 덮어 말기 낭배기에 달하였다 (Fig. 1M). 수정 후 14시간 30분에는 원구가 폐쇄되면서 난황의 가장자리에 배체가 형성되었다 (Fig. 1N), 수정 후 22시간에는 3~6개의 근절이 형성되었고 (Fig. 1O), 수정 후 24시간 30분에는 9~11개의 근절이 형성되었으며, 머리 부분에는 안포가 발달하였다 (Fig. 1P). 수정 후 26시간에는 근절 수가 15개로 증가하였고, 꼬리 안쪽 끝부분에는 Kuffer's vesicle이 형성되었다 (Fig. 1Q). 수정 후 31시간에는 근절 수가 21개로 증가하였고, Kuffer's vesicle이 소실되었으며, 눈에는 안포가 형성되었다 (Fig. 1R). 수정 후 36시간 30분에는 눈의 안포가 뚜렷하게 발달하였고, 꼬리는 점차 길

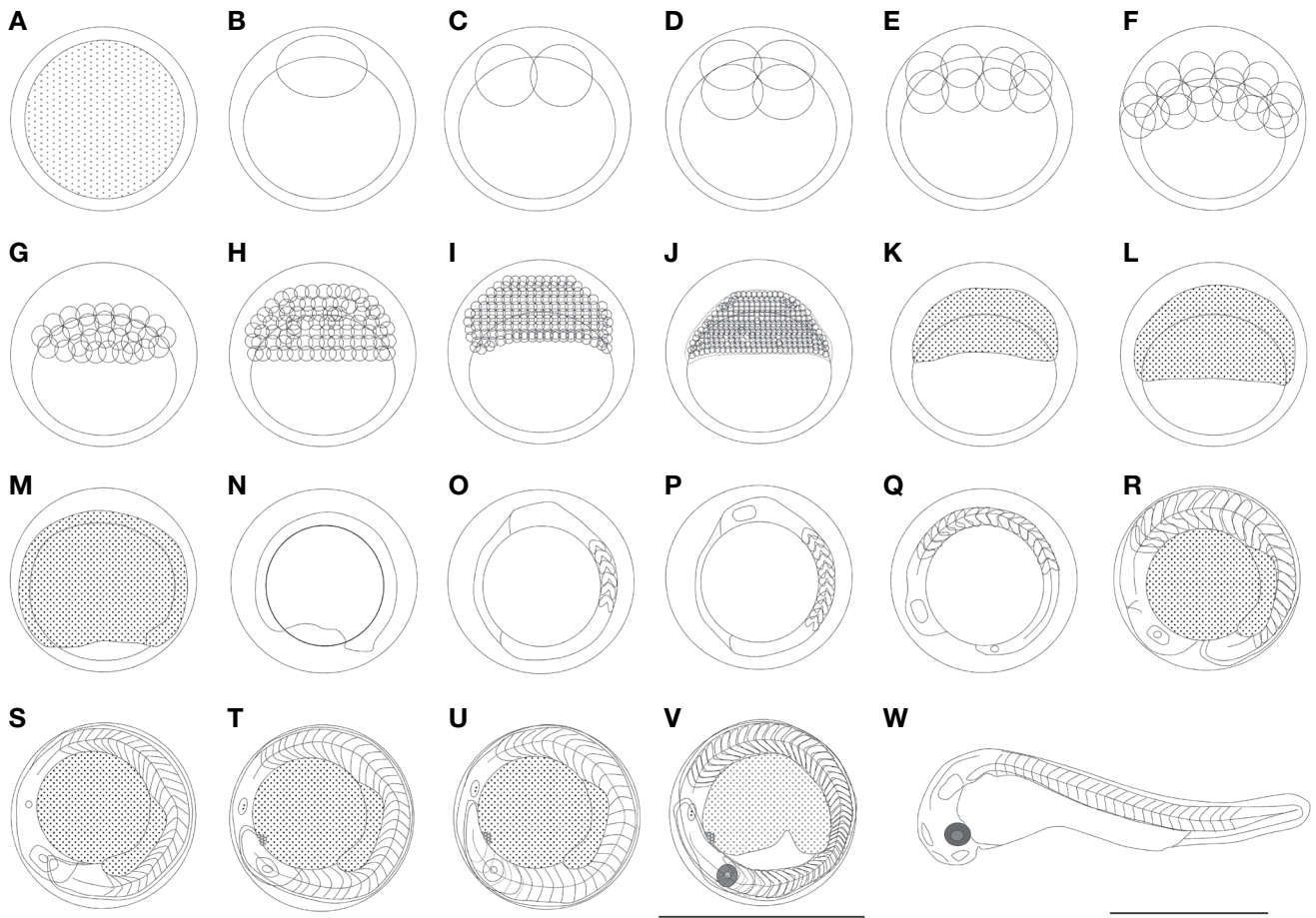


Fig. 1. The egg development of *Squalidus gracilis majimae*. A: fertilized egg; B: blastodisc; C: 2 cells; D: 4 cells; E: 8 cells; F: 16 cells; G: 32 cells; H: 64 cells; I: morula stage; J: blastula stage; K: early gastrula stage; L: middle gastrula stage; M: late gastrula stage; N: formation of embryo; O: 3~6 myotomes; P: 9~11 myotomes; Q: appearance kuffer's vesicle; R: 21 myotomes; S: movement of embryo; T: development of brain; U: embryo in long tail; V: embryo just before hatching; W: hatched larvae. Scale bars = 1.00 mm.

어져 머리 앞쪽을 넘어섰다. 머리 부분에는 1쌍의 이포가 발달하였으며, 이 시기에는 배체의 움직임이 관찰되었다(Fig. 1S). 수정 후 51시간에는 머리 부분에 뇌가 발달하였고, 꼬리지느러미에 막이 형성되었으며, 꼬리는 더욱 길어져 머리 부분의 중반부 이상을 넘어섰다(Fig. 1T). 수정 후 54시간에는 배체의 움직임이 더욱 활발해졌고, 꼬리지느러미의 길이는 머리 부분 전체를 넘어섰다(Fig. 1U). 수정 후 59시간 30분에는 눈에 흑색소포가 침착하기 시작하였고, 심장박동이 빨라졌으며, 부화 직전에 이르렀다(Fig. 1V). 수정 후 62시간 30분에는 배체가 난막을 뚫고 나왔고 부화가 시작되었다(Fig. 1W). 수정 후 69시간에는 수정란 전체의 50% 이상이 부화하였고, 수정 후 79시간에는 모든 개체의 부화가 완료되었다.

3. 자치어 형태발달

부화 직후 난황자어는 전장 2.39~2.53 mm (2.44±0.04 mm,

n=30)로 몸은 반투명하였고, 지느러미는 막으로 되어 있었다. 입과 항문은 열리지 않았고, 복부에는 난황을 가졌다. 부화 직후 움직임은 거의 없었고, 시간이 지날수록 외부 충격에 빠른 움직임을 보이기 시작하였다. 이 시기의 근절 수는 32~37개 (20~22 + 12~15)였다(Fig. 2A).

부화 후 1일째 난황자어는 전장 2.90~3.20 mm (3.06±0.10 mm, n=30)로 눈에 침착된 흑색소포는 길어졌고, 난황 위에는 나뭇가지 모양의 흑색소포가 침착하였다. 가슴에는 원형으로 된 1쌍의 막지느러미가 발달하기 시작하였다(Fig. 2B).

부화 후 3일째 난황자어는 전장 3.60~3.81 mm (3.72±0.08 mm, n=30)로 난황 위에 침착한 흑색소포의 분포범위가 점차 넓어졌고, 난황의 위쪽에는 새로운 흑색소포가 침착하였다. 막으로 된 가슴지느러미는 더욱 넓고 크게 발달하였다. 이 시기에는 입의 아래쪽과 아가미 옆쪽에 1쌍의 감각돌기가 발달하였다(Fig. 2C).

부화 후 7일째 전기자어는 전장 4.59~4.80 mm (4.71±0.06

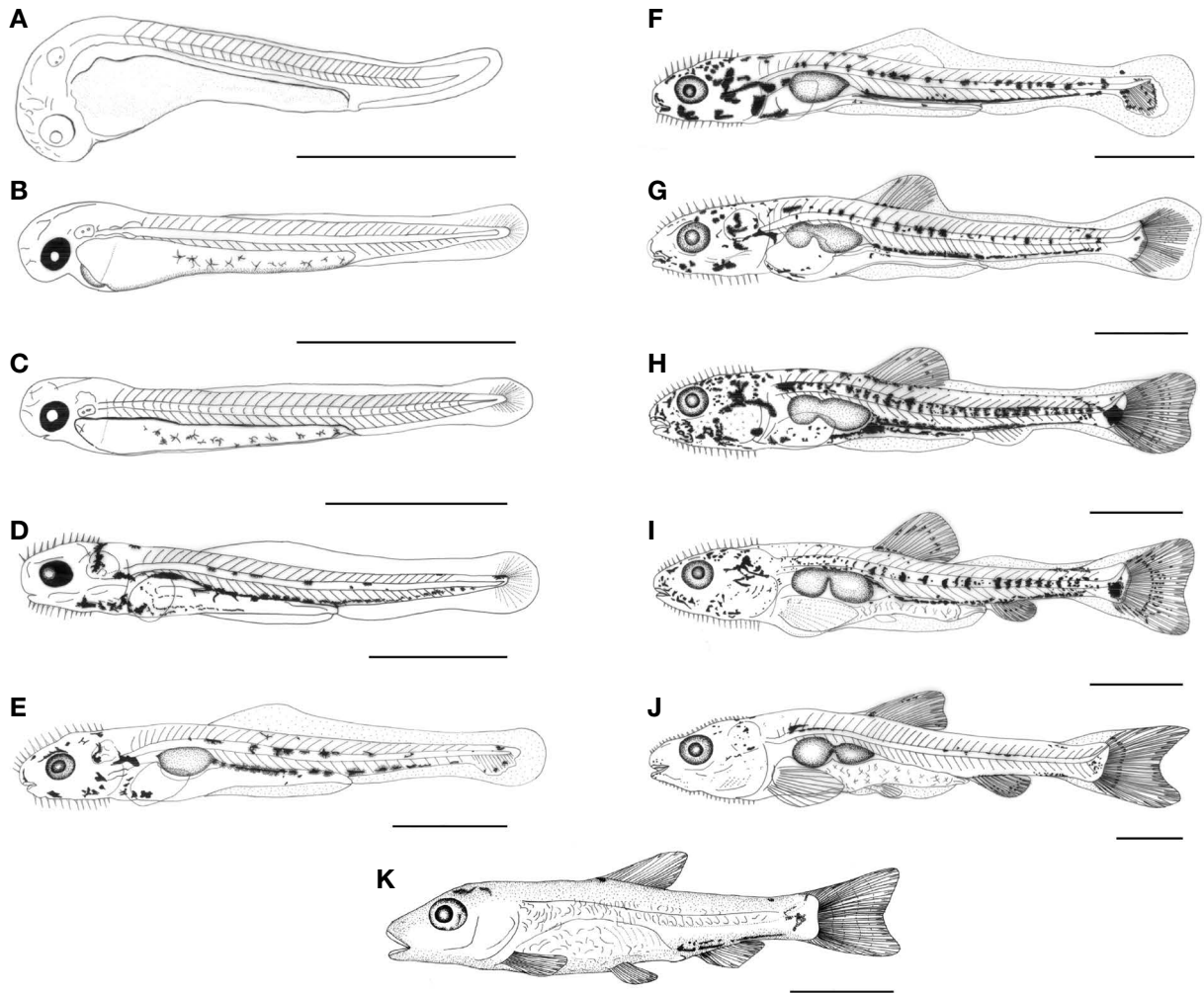


Fig. 2. Larvae and juveniles development of *Squalidus gracilis majimae*. A: newly hatched larvae, 2.44 mm in total length (TL); B: 1 days after hatching (DAH), 3.06 mm in TL; C: 3dAH, 3.72 mm in TL; D: 7dAH, 4.71 mm in TL; E: 9dAH, 5.82 mm in TL; F: 11dAH, 6.59 mm in TL; G: 14dAH, 7.14 mm in TL; H: 18dAH, 8.95 mm in TL; I: 20dAH, 12.0 mm in TL; J: 22dAH, 13.0 mm in TL; K: 40dAH, 18.5 mm in TL. Scale bars = 1.00 mm.

mm, n=30)로 난황을 모두 흡수하였고, 입과 항문이 열리면서 담수산 로티퍼를 섭취하였다. 흑색소포는 아가미 뚜껑 부분과 머리 뒤쪽, 소화관 위쪽을 따라 미병부까지 나뭇가지 모양으로 침착하였고, 몸 정중앙과 꼬리지느러미 시작점까지는 부분적으로 침착하였으며 척추 중앙에는 반점 모양으로 5개의 흑색소포가 분포하였다. 입의 아래쪽과 양옆으로는 16쌍의 감각돌기가 발달하였고, 머리의 상단부분과 몸의 측면에도 감각돌기가 발달하기 시작하였다(Fig. 2D).

부화 후 9일째 전기자어는 전장 5.60~6.08 mm (5.82±0.16 mm, n=30)로 등과 꼬리지느러미가 분화하기 시작하였고, 꼬리지느러미에는 기조가 분화하기 시작하였다. 복부 위쪽에는 부레가 발달하였고, 머리 부분에는 눈의 위쪽과 아래턱에 흑색소포가 침착하였다(Fig. 2E).

부화 후 11일째 중기자어는 전장 6.35~6.93 mm (6.59±0.24

mm, n=30)로 머리 상단부에 전반적으로 흑색소포가 침착하였고, 위턱에도 새롭게 침착하였다. 꼬리지느러미에는 8개의 기조가 발달하였고, 위쪽에는 흑색소포도 함께 침착하였다. 꼬리의 끝은 위쪽으로 휘어지기 시작하면서 중기자어기에 달하였다(Fig. 2F).

부화 후 14일째 중기자어는 전장 6.66~7.75 mm (7.14±0.44 mm, n=30)로 복부 위쪽에 발달한 부레는 두 갈래로 나누어졌고, 몸의 정중앙에 침착한 흑색소포는 척추골의 마디와 신경극 및 혈관극 사이에 침착하였다. 꼬리지느러미에 침착한 흑색소포는 하미축골 아래 부분에 1개의 반점 모양으로 발달하였고, 꼬리지느러미 기조는 19개 (10+9)로 증가하였다. 등지느러미에는 9개의 기조가 발달하였고, 머리 부분과 몸의 측면에 발달한 감각돌기의 수는 점차 감소하였다. 이 시기에는 알테미아 부화 유생을 섭취하였다(Fig. 2G).

Table 1. Time required for embryo development stages of genus *Squalidus* from Korea

Stage	Species	<i>S. japonicus coreanus</i>	<i>S. multimaculatus</i>	<i>S. gracilis majimae</i>		Fig. 1**
	References	Kim <i>et al.</i> (2021)	Song <i>et al.</i> (2017)	Park <i>et al.</i> (2005a)	Present study	
	*WT.	23 ± 1°C	25°C	26 ± 1°C	22 ± 1°C	
Zygote period	Insemination	00:00	00:00	00:00	00:00	
	Swelling	00:00	00:15	00:09	00:15	A
	Blastodisc	00:15	00:35	00:20	00:30	B
Cell cleave period	2 cells	01:00	00:50	00:48	01:00	C
	4 cells	01:10	01:05	01:16	01:30	D
	8 cells	01:20	01:15	01:48	02:00	E
	16 cells	01:40	01:30	02:19	02:30	F
	32 cells	01:50	01:45	02:50	03:30	G
	64 cells	02:00	02:00	03:21	05:30	H
	Blastula period	Morula	02:20	02:40	04:46	07:00
Blastula		03:10	04:00	05:40	07:30	J
Gastrula period	Early gastrula	04:50	04:30	06:55	08:30	K
	Middle gastrula	06:20	06:00	08:41	10:30	L
	Late gastrula	08:50	07:50	10:35	13:00	M
Embryonic period	Formation of embryo	10:50	11:00	12:58	14:30	N
	3~6 myotomes	14:00	12:00	15:40	22:00	O
	8~11 myotomes	15:00	15:00	17:05	24:30	P
	15~22 myotomes	23:00	22:00	23:30	26:00	Q
	25~28 myotomes	25:00	23:00	32:35	31:00	R
Hatching period	Hatching start	46:00	65:00	57:49	62:30	W
	Hatching complete	49:00	77:00	–	79:00	–

*WT : water temperature, **Egg development photographs (Fig. 1) of *S. gracilis majimae* (Present study)

Table 2. Comparison of egg and larvae characteristics in *Squalidus* fishes

Species	Fertilized eggs diameter (mean ± SD mm)	Time of hatching (Water temperature, °C)	Newly hatched larvae size (mean ± SD mm)	Postflexion larvae size (mean ± SD mm)	Reference
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	0.87~0.98 (0.91 ± 0.04)	62 h 30 min~69 hrs (22 ± 1)	2.39~2.53 (2.44 ± 0.04)	8.51~9.84 (8.95 ± 0.42)	Present study
	(2.9 ± 0.3)	57 h 49 min (26 ± 1)	(3.3 ± 0.2)	–	Park <i>et al.</i> , 2005a
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	1.10~1.16 (1.12 ± 0.03)	46~49 hrs (23 ± 1)	3.6~4.5 (4.1 ± 0.2)	6.9~8.6 (7.6 ± 0.5)	Kim <i>et al.</i> , 2021
<i>Squalidus multimaculatus</i>	0.8~0.9 (0.8 ± 0.03)	65~77 hrs (25)	2.5~3.1 (2.8)	6.0~7.9 (6.8)	Song <i>et al.</i> , 2017

부화 후 18일째 후기자어는 전장 8.51~9.84 mm (8.95 ± 0.42 mm, n=30)로 지느러미 기조 수는 등지느러미 9개, 꼬리지느러미 20개 (10+10)로 증가하였고, 뒷지느러미에는 7개의 기조가 발달하였다. 등지느러미 기조 위에는 흑색소포가 침착하였고, 몸 전체적으로 침착된 흑색소포는 크기나 분포범위가

넓어졌다. 이 시기에는 꼬리 끝의 미부봉상골이 45°로 완전히 휘어지면서 후기자어기에 달하였다 (Fig. 2H).

부화 후 20일째 후기자어는 전장 11.1~12.9 mm (12.0 ± 0.71 mm, n=30)로 뒷지느러미 기조 수는 8개로 증가하였고, 막으로 연결되어 있던 뒷지느러미와 꼬리지느러미는 완전히 분리

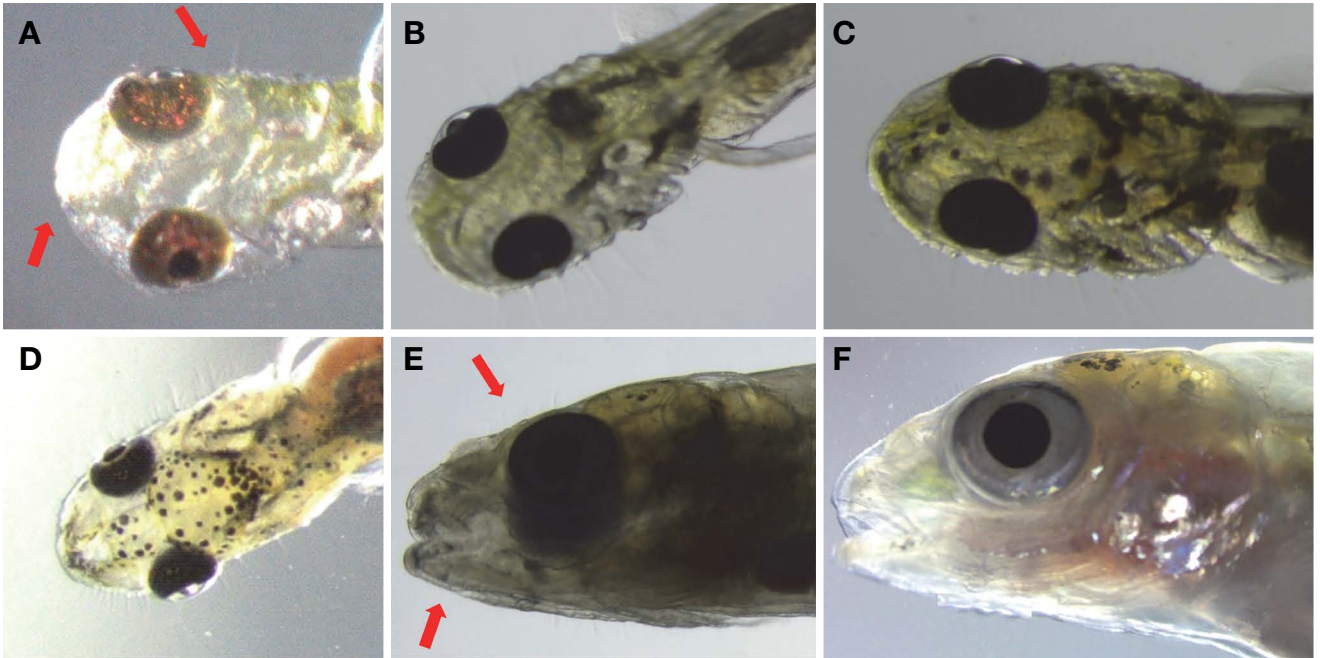


Fig. 3. Dorsal and lateral view of head cupulae (arrow of red) appearing in larvae and juveniles of *Squalidus gracilis majimae*. A: yolk-sac larvae, 3dAH 3.60~3.81 mm in TL; B: preflexion larvae, 7dAH 4.59~4.80 mm in TL; C: flexion larvae, 14dAH 6.66~7.75 mm in TL; D: postflexion larvae, 20dAH 11.1~12.9 mm in TL; E: juvenile, 40dAH 15.2~21.3 mm in TL; F: juvenile, 55dAH 18.0~23.0 mm in TL.

되었으며, 배지느러미가 발달하기 시작하였다. 흑색소포의 분포범위와 크기는 감소하였고, 뒷지느러미 기부 및 줄기에 흑색소포가 새롭게 침착하였다(Fig. 2I).

부화 후 22일째 치어는 전장 12.6~13.6 mm (13.0±0.36 mm, n=30)로 몸 전체적으로 침착되었던 흑색소포는 그 수와 범위가 사라졌고, 각 부위별 지느러미 위쪽에서도 감소하였다. 감각돌기는 그 수가 점차 줄어들면서 길이도 짧아졌다. 이 시기의 지느러미 기조 수는 등지느러미 iii7개, 뒷지느러미 i7개, 배지느러미 i5개, 꼬리지느러미 23개(12+11)로 정수에 달하면서 치어기에 달하였다(Fig. 2J).

부화 후 40일째 치어는 전장 15.2~21.3 mm (18.5±2.19 mm, n=30)로 입 주변에는 1쌍의 수염이 발달하였고, 두부 위쪽과 등 쪽, 미병부 및 꼬리 쪽에 흑색소포가 남아 있었으며, 몸의 정중앙으로 세로 줄무늬가 아가미 뒤쪽에서부터 꼬리지느러미 시작점까지 이어져 있었다. 몸 전체에는 비늘이 발달하기 시작하였다(Fig. 2K).

고 찰

긴물개의 성숙란은 원형으로 물에 가라앉고 부착성질을 가진 침성부착란이었다. 이는 Park *et al.* (2005a)이 선행연구에서 보고한 결과와 일치하였으며, 같은 속 어류인 점물개에서

도 동일한 특징을 나타냈다. 이외에도 중국에 서식하는 물개류 *Squalidus argentatus*의 난은 부유성을 띠는 것으로 알려져 차이를 보였다(Wang *et al.*, 2010).

긴물개의 수정란 크기는 0.91±0.04 mm로 Park *et al.* (2005a)의 경우 수정란 크기가 2.9±0.3 mm로 본 연구 결과보다 크게 나타났으며, 친어 크기 및 난 크기를 비교할 수 있는 Scale bar 표시 누락 등으로 차이점을 확인하기는 다소 어려웠다. 같은 속 어류의 물개(Kim *et al.*, 2021)는 수정란 평균 크기 1.12±0.03 mm, 점물개(Song *et al.*, 2017) 0.8±0.03 mm로 물개는 긴물개보다 컸고, 점물개와는 유사하였다.

본 실험에서 부화에 소요되는 시간은 수온 22±1°C에서 62시간 30분이 소요되었고, Park *et al.* (2005a)은 수온 26±1°C에서 57시간이 소요되어 높은 수온에서 부화시간이 빠른 것으로 나타났다. 물개(Kim *et al.*, 2021)은 수온 23±1°C에서 46시간, 점물개(Song *et al.*, 2017) 수온 24±1°C에서 65시간으로 물개는 긴물개보다 부화시간이 빨랐고, 점물개와는 유사하였다(Table 1). 이러한 경향으로 볼 때 수온의 변화는 발생 시간에 영향을 미치는 것을 알 수 있었고, 다만 정확한 비교를 위해서는 동일한 수온조건에서 부화시간을 비교하는 것이 필요하다(Kim *et al.*, 2021).

부화 자어의 크기를 비교한 결과 긴물개는 평균전장 2.44±0.04 mm, Park *et al.* (2005a)은 3.3±0.2 mm로 차이를 보였다. 같은 종간에 크기 차이를 보였는데 차이점을 확인하기 위해

수계별로 부화자어 크기에 차이가 있는지 확인이 필요할 것으로 생각된다.

수정란의 크기는 부화자어의 크기와도 직접적으로 비례하여 수정란이 작은 종은 부화자어의 크기도 작으며(Lee *et al.*, 2013), 이는 부화시간과 포란수에도 직접적인 관련이 있는 것으로 사료된다. 같은 속의 물개(Kim *et al.*, 2021)는 부화자어 평균전장 3.7 ± 0.1 mm, 점물개(Song *et al.*, 2017) 2.8 ± 0.1 mm로 긴물개는 물개보다 작았고, 점물개와 유사하였다(Table 2).

근연종 간의 흑색소포 분포 위치와 발달을 비교한 결과 긴물개는 난 내 발달과정 중 꼬리의 길이가 배체의 머리를 넘어서는 시기일 때 안포에 흑색소포가 침착하여 Park *et al.* (2005a)의 연구결과와 일치하였다. 물개(Kim *et al.*, 2021)는 난 내 발생 과정 동안 흑색소포가 관찰되지 않았고, 점물개(Song *et al.*, 2017)는 안포 이외에도 난황과 두부에 흑색소포가 침착하여 긴물개는 같은 속의 2종과 난발생 과정 중 흑색소포의 분포 위치와 발달 유무에서 차이를 보였다. 이후 척삭말단이 위로 완전히 굽어지는 후기자어 시기의 긴물개는 부화 후 18일째 평균전장 8.95 ± 0.42 mm일 때 후기자어로 이행하였고, 흑색소포의 분포 위치는 뒷지느러미를 제외한 등지느러미, 꼬리지느러미, 두부, 미병부에 분포하였다. 물개(Kim *et al.*, 2021)는 부화 후 24일째 평균전장 7.6 ± 0.5 mm, 점물개(Song *et al.*, 2017) 부화 후 17일째 평균전장 6.8 mm일 때 후기자어로 이행하였고, 점물개와 긴물개는 미병부에 가로 방향으로 밴드 형태의 흑색소포가 분포하였으나 물개는 분포하지 않아 차이를 보였다. 긴물개와 점물개의 흑색소포 분포 위치는 유사하였으나 척추말단의 미부부상골 아래에 침착한 점 모양의 흑색소포가 점물개는 2개, 긴물개는 1개의 큰 점으로 이루어져 있었으며, 띠 형태의 흑색소포는 점물개보다 긴물개가 더 많은 수로 이루어져 있어 자어 시기일 때 이들 유사종 간의 뚜렷한 외부 형태적 차이를 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 자어시기에 두부와 몸의 측면에 막대모양의 돌기가 관찰되었는데 이는 표면신경소구(superficial neuromast)를 이루는 모세포의 섬모뿔음으로 젤라틴 돛과 같은 구조인 cupulae(cupula)를 형성하고 있으며(Roberts *et al.*, 1988), 기능과 형태가 척추동물의 청각 및 전정시스템과 같다고 알려져 있다(Iwai, 1967, 1972; Mogdans, 2019). 이와 관련된 연구로는 긴물개와 같은 모래무지아과 어류 쉬리 *Coreoleuciscus splendidus* (Song *et al.*, 2020), 왜매치 *Abbottina springeri* (Park *et al.*, 2021), 물개(Kim *et al.*, 2021), 버들매치 *A. rivularis*, *Biwia zezera*, *S. gracilis*의 3종(Nakamura, 1969) 및 일본산 모래무지(Nakajima and Onikura, 2015)에서 확인되었다(Kim *et al.*, 2021). 자어 시기의 cupulae 발달과정은 먹이섭식과 서식지 선택 등 초기 생존과 연관되어 있으며(Iwai, 1972; Mukai and Kobayashi, 1991; Nakajima and

Onikura, 2015), cupulae는 난황 흡수 이후 먹이 섭식 시기에 최대 발달하며 후기자어 시기에는 최대한으로 짧아져 관찰되지 않는다(Nakajima and Onikura, 2015; Song *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2021).

긴물개는 부화 후 3일째부터 cupulae가 관찰되었고, 물개(Kim *et al.*, 2021)는 부화 후 2일, 쉬리(Song *et al.*, 2020) 부화 후 4일, 왜매치(Park *et al.*, 2021) 부화 후 2일로 나타났다. 처음에는 머리 부분만 발달하고 먹이 섭취가 시작되는 시점부터 몸의 측면까지 발달되어 선행연구와 같았고, cupulae의 발달과정이 자어의 초기 먹이 섭식과 관련 있는 것으로 보인다. Cupulae가 소실되는 시기의 긴물개는 치어기로 이행 후 부화 50일에도 cupulae가 관찰되었으며 이후부터는 점차 소실되었다(Fig. 3). 다른 유연종들은 물개(Kim *et al.*, 2021) 부화 후 40일, 쉬리(Song *et al.*, 2020) 부화 후 13일, 왜매치(Park *et al.*, 2021) 부화 후 20일이 경과하면서 cupulae가 소실되었고, 후기자어 시기에 cupulae가 소실되는 쉬리(Song *et al.*, 2020), 왜매치(Park *et al.*, 2021) 보다 물개(Kim *et al.*, 2021)와 긴물개는 치어기 이후까지 관찰되는 것으로 보아 cupulae의 출현기간은 동일한 모래무지아과 내에서도 속 또는 종에 따라 cupulae의 발달 및 유지기간이 다른 것으로 보인다.

지금까지 우리나라에 분포하는 물개류는 초기생활사 연구가 지속적으로 진행되면서 물개(Kim *et al.*, 2021), 점물개(Song *et al.*, 2017), 긴물개 등 3종이 연구되었고, 본 연구를 통해 같은 속 어류 내에서도 난 및 초기 발생 과정에서 다양한 차이를 보인 것을 확인할 수 있었다. 따라서 물개류의 초기 발달과정에서 나타나는 특징을 더욱 명확하게 규명하기 위해서는 현재까지 밝혀지지 않은 참물개의 초기생활사 연구가 추가적으로 필요할 것으로 보인다.

요 약

이 연구는 긴물개의 난발생과 자치어 형태발달을 관찰하여 초기생활사를 규명하고자 실시하였다. 연구에 사용된 긴물개는 2021년 6월 경북 의성군에 위치한 낙동강 수계 위천으로 유입되는 지류에서 포획하였다. 인공수정을 위해 호르몬 Ovaprim은 kg당 0.5 mL 농도로 주사하였고, 주사 후 12시간 후에 채란하였다. 성숙란의 크기는 0.80~0.85 mm (0.83 ± 0.01 mm, n=30)였고, 수온 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 부화 소요시간은 62시간 30분에서 69시간이 소요되었다. 부화 직후 자어크기는 전장 2.39~2.53 mm (2.44 ± 0.04 mm, n=30)였고, 부화 후 18일째 후기자어는 전장 8.51~9.84 mm (8.95 ± 0.42 mm, n=30)로 척추 끝부분이 완전히 휘어지면서 후기자어로 이행하였다. 부화 후 22일째 치어는 전장 12.6~13.6 mm (13.0 ± 0.36 mm,

n=30)로 지느러미 기초 수는 등지느러미 iii7개, 뒷지느러미 i7개로 정수에 달했다. 긴물개는 난 및 부화자어 크기는 점물개와 유사하였고, cupulae는 유연종들 가운데 가장 늦게 소실되었다.

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.

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.

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. 102-105.

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.

Ji, H.S., H.J. Yoo, J.K. Kim, D.N. Kim, S.T. Kim, J.N. Kim, H.J. Kim, S.Y. Moon, D.H. Shin, T.Y. Oh, J.T. Yoo, E.A. Yoon, S.K. Lee, H.W. Lee, H.B. Lee, Y.J. Im, J.M. Jeong, J.H. Choi and K.S. Hwang. 2020. Fish eggs, larvae and juveniles of Korea. Hangeul Graphics, Busan, Korea, 442pp.

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, 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.

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, K.M., Y.H. Kwak, S.Y. Kim and H.Y. Song. 2021. Morphological development of egg and larvae of *Squalidus japonicus coreanus* (Gobioninae). Korean J. Ichthyol., 33: 252-261.

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.

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 darly life history of the Korean Mandarin Fish, *Siniperca scherzeri* (Perciformes, Centropomidae). Korean J. Ichthyol., 10: 1-10.

Lee, W.O., K.H. Kim, J.M. Back and M.Y. Song. 2013. Egg development and early life history of *Zacco koreanus*. Korean J. Ichthyol., 25: 200-207.

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.

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: Gobioninae). Ichthyol. Res., 62: 268-273.

Nakamura, M. 1969. Cyprinid fish of Japan. Studies on the life history of cyprinid fishes of Japan. Res. Inst. For Natural Resources. Tokyo, Japan, 455pp.

Nelson, J.S., T.C. Grande and M.V.H. Wilson. 2016. Fishes of the world, 5th ed. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, U.S.A., p. 180.

Park, J.M., D.J. Yoo, S.J. Cho and K.H. Han. 2021. Morphological development of eggs, larvae and juveniles of the *Abbotina springeri*. Korean J. Ichthyol., 33: 167-176.

Park, K.S., Y.P. Hong, U.K. Moon, S.S. Choi and K.K. An. 2005a. The egg development of Korean slender gudgeon, *Squalidus gracilis majimae* (Cypriniformes: Cyprinidae). Korean J. Limnol., 38: 73-82.

Park, K.S., Y.P. Hong, S.S. Choi and K.K. An. 2005b. The spawning behavior of Korean slender gudgeon, *Squalidus gracilis majimae* (Cypriniformes: Cyprinidae). Korean J. Limnol., 38: 207-216.

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.

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* (Gobioninae). 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: 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., 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: Gobioninae) in the Jo-jong Stream, Korea. Korean J. Ichthyol., 32: 166-181.
- 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.