

한반도에 출현하는 대황어 *Tribolodon brandtii*의 난 발생 및 초기생활사

최성국 · 홍양기¹ · 송선화 · 김경환 · 송미영 · 이완옥*

국립수산과학원 중앙내수면연구소, ¹국립중앙과학관

Egg Development and Early Life History of the *Tribolodon brandtii* from the Korean Peninsula by Sung Kook Choi, Yang-Ki Hong¹, Sun-Hwa Song, Kyeong-Hwan Kim, Mi-Young Song and Wan-Ok Lee* (Inland Fisheries Research Institute, NIFS, Gapyeong 12453, Republic of Korea; ¹National Science Museum, Daejeon 34143, Republic of Korea)

ABSTRACT We investigated to egg development and early life history of *Tribolodon brandtii* in the Korean peninsula. The fertilized eggs of the *T. brandtii* were slightly adhesive and separated with a yellow yolk and no oil globule, and they was an average of 2.4 ± 0.2 mm in diameter. The hatching of the embryo took place in about 60 hrs after fertilization under water temperature of $20 \pm 1^\circ\text{C}$ and the newly hatched larvae were average 6.4 ± 0.4 mm in total length. At 10 days after hatching, they were average 11.7 ± 0.2 mm in total length and their yolk sac were completely absorbed. At 46 days after hatching, they became to juvenile stage and reached 19.6 ± 2.7 mm in total length and all their fin rays were formed. At 125 days after hatching, the juvenile were 54.9 ± 15.8 mm in total length and their body shape were similar to the adult fish. At 236 days after hatching, they fish were 54.9 ± 15.8 mm in total length and their body color were similar to the adult fish.

Key words: *Tribolodon brandtii*, egg development, early life history

서 론

황어속 *Tribolodon* 어류는 잉어목(Cypriniformes) 잉어과(Cyprinidae) 황어아과(Leuciscinae)에 속하는 회유성 어류로 우리나라의 섬진강과 남해, 동해로 흐르는 하천과 그 연안에 출현하는 황어 *Tribolodon hakonensis* (Günther)와 동해 북부로 흐르는 하천과 연안에만 제한적으로 분포하고, 세계적으로는 일본의 북서부와 홋카이도, 러시아의 연해주에 분포하고 국내의 분포지역이 최남단 분포지로 알려져 있는 대황어 *T. brandtii* (Dyobowski) 2종이 출현한다(Mori, 1952; Jeon and Sakai, 1984; Sakai, 1995; Kim *et al.*, 2005). Mori (1952)는 한국산 어류목록에서 대황어가 울진, 두만강과 남대천(함경북도 성진)에 분포하고, 황어는 한반도 남부지역의 강에 분포한다

고 기록하였다. 이후 1980년대에 국내에 분포하는 황어에 대한 형태 및 분포지역을 자세히 조사하여, 우리나라에서 황어는 전국적으로 분포하고, 강릉 이북의 동해 북부와 러시아, 일본 홋카이도 등에 널리 분포하는 북방계 황어인 대황어가 분포하고 있음을 표본으로 기록하였다(Jeon and Sakai, 1984).

한국산 황어속 어류에 분류학적 연구는 Mori and Uchida (1934), Ikeda (1938) 등에 의하여 황어와 대황어 또는 *T. taczanowskii* (Steindachner)의 2종이 분포한다고 보고하였으나, Uchida (1939)는 측선비늘수를 조사하여 황어와 대황어 2종의 분포를 인정하지 않고, 측선비늘수를 기준으로 *T. taczanowskii* 1종이 분포한다고 보고하였다. 이후 Chyung (1977)은 한국어도보에서 Uchida (1939)의 결과를 인용하여, *T. taczanowskii* 학명으로 황어 1종이 분포한다고 보고하였다. 이후 *T. taczanowskii*는 *T. brandtii*의 동종이명으로 처리하였으며(Eschmeyer, 2016), 일본 등 국외에서도 *T. brandtii*를 대황어의 학명으로 사용하고 있다. 국내에서 사용하는 대황어 학

*Corresponding author: Wan-Ok Lee Tel: 82-31-589-5160,
Fax: 82-31-589-5151, E-mail: wolee@korea.kr

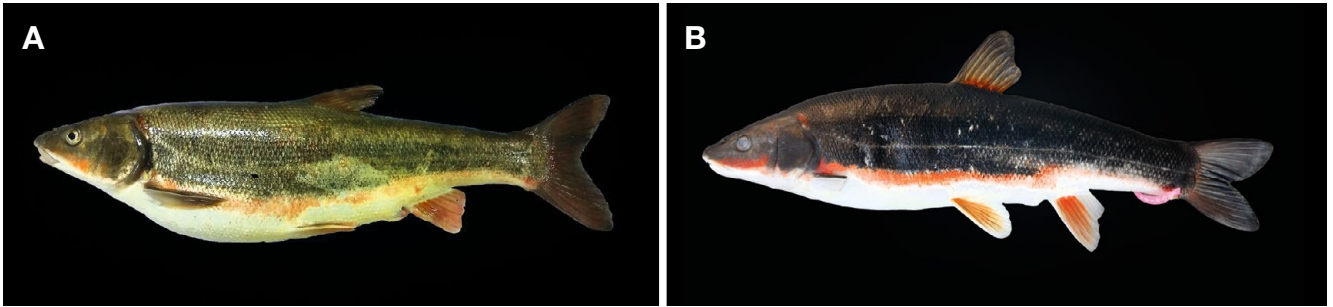


Fig. 1. Photo of collected adult fish with nuptial color of mature female (A: 410 mm SL) and male (B: 410 mm SL) of *T. brandtii* at 30th March, 2017 in Buk stream of Goseong-gun, Korea.

명인 *T. brandtii*는 *T. brandtii*의 잘못된 표기로 수정하여 사용하였다(Sakai, 1995; Eschmeyer, 2016).

황어속 어류의 분류 형질은 두부측선감각계, 각종 계수 및 계측형질, 혼인색의 차이 등으로 구분하고 있지만(Jeon and Sakai, 1984; Sakai, 1995), 외부형태로는 혼인색이 나타나는 산란기를 제외하고 조사 현장에서 동정하기가 어려우며, 특히 2종 이상이 출현하는 수역이나, 미성숙 개체를 동정하기는 더욱 어렵다. 따라서 황어속 어류의 연구 중에는 외부형태에 의한 분류보다 전기영동법에 의한 분류(Sakai and Hamada, 1985), 분자계통학적인 연구(Sasaki *et al.*, 2007), 황어의 회유이력 연구(Ishizaki *et al.*, 2009) 등과 같은 분류학적 형질을 밝히거나 생태학적 연구가 더 많이 이루어지고 있다.

우리나라에 출현하는 황어속 어류에 대한 연구는 형태 및 분포(Jeon and Sakai, 1984)와 황어의 난 발생, 일부 초기생활사(Lee *et al.*, 1989; Han *et al.*, 1999), 하천의 상, 하류에 분포하는 황어의 유전적 다양성의 차이(Lee *et al.*, 2012)가 이루어졌다. 그러나 1984년 우리나라에 대황어가 분포한다고 표본으로 확인된 이후 30년 이상 흘렀지만, 대황어의 기초 생물학적 연구는 이루어지지 않고 있다. 특히 어류의 난 발생과 초기생활사 연구는 종의 특성을 규명하고 근연종과의 분류학적인 유연관계를 밝히기 위한 중요한 기초연구로 알려져 있다(Blaxter, 1974; Balon, 1985; Lee *et al.*, 2013; Hong *et al.*, 2015; Ko *et al.*, 2017). 본 연구는 우리나라의 동해 북부에만 제한적으로 분포하는 대황어의 난 발생 및 초기생활사에 대한 연구를 수행하여, 산업적 이용을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시험어 확보 및 인공수정

본 실험에 사용된 대황어는 2017년 3월 30일 고성 북천 수계인 강원도 고성군 거진읍 대대리(E128°46'26.16"/N38°

39'33.18")에서 자망(길이 50 m, 높이 1.5 m, 외망목내경 460 mm, 내망목내경 75 mm) 및 족대(밀면 1 m, 높이 0.9 m, 망목내경 10 mm)를 이용하여 채집하였다. 채집한 시험어 중에 성숙한 암·수개체를 선별하여 암·수 5마리 이상씩 산소 포장한 후 실험실로 운반하였다. 실험실에서는 선별한 친어 중에 가장 상태가 양호한 암컷 친어의 복부를 압박하여 채란하였고, 채란된 난에 수컷 2마리를 복부 압박하여 얻은 정액을 난에 균일하게 섞었으며, 잘 섞인 난과 정액에 0.75% Ringer solution을 부어 1분간 다시 섞고, 지하수로 여러 차례 세척하여 수조에 수용하였다.

2. 사육 관리

성숙한 개체에서 채란하고 인공수정 시켜서 얻은 수정란은 각각 소형 사각수조(63.2×43.7×22.6 cm)에 2그룹으로 분산 수용하여 관리하였다. 부화 및 사육 수온은 친어가 채집된 수역의 평균 자연 수온인 13±1°C(13°C 그룹)와 일반적인 우리나라 담수어류 산란시기 수온인 20±1°C(20°C 그룹)를 유지하며 관리하였다. 부화된 자어는 난황이 흡수된 후 brine shrimp (*Artemia* sp.) 유생을 공급하였고, 치어용 배합사료(LOVE LARVA, Japan)를 순차적으로 공급하여 사육하였다. 사육수는 후기자어기까지는 매일 사육수의 1/2씩 환수하였으며, 후기자어기 이후는 사각수조(200×200×100 cm)로 옮겨 유수식(1회/일 환수)으로 사육 관리하였다.

3. 난 발생 및 자치어 관찰

포란수는 채란에 사용한 암컷의 성숙란을 전체 개수하였으며, 난의 크기는 20개를 무작위로 추출하여 측정하였다. 난 발생 및 후기자어기까지 발달과정은 실체현미경(Carl Zeiss, Germany)을 사용하여 6~50배로 관찰하였고, 실체현미경과 연결된 디지털카메라로 촬영하였다. 수정란의 부화단계 구분은 Kimmel *et al.*(1995)의 부화단계를 따랐다. 부화 직후부터 부화 120일 이후까지 자치어를 주기적으로 10마리씩 MS-222

Table 1. The egg development of *T. brandtii* at water temperature each other

Stage	Elapsed time (hr:min)		Characters	Fig. 2
	20±1°C	13±1°C		
Zygote period				
Insemination	00:00	00:00	Sperm and egg are inseminated	
Swelling	00:30	00:30	Swelling	A
Blastodisc	01:00	01:30	Blastodisc	B
Cell cleave period				
2 cells	02:00	03:30	2 blastodisc is cleavage	C
4 cells	02:30	04:00	2-2 array of blastomeres	D
8 cells	03:00	05:00	2-4 array of blastomeres	E
16 cells	03:30	06:30	4-4 array of blastomeres	F
32 cells	04:00	08:00	4-8 array of blastomeres	G
64 cells	05:00	09:00	8-8 array of blastomeres	H
Blastula period				
Morula (256 cells)	06:00	10:00	16 regular tiers of blastomeres	I
Blastula	08:00	11:30	Flattening produces an elliptical shape	J
Gastrula period				
Early gastrulation (30% epiboly)	12:00	18:30	Early gastrulation	K
Middle gastrulation (50% epiboly)	16:30	32:30	Middle gastrulation	L
Late gastrulation (90% epiboly)	20:30	40:00	Late gastrulation	M
Embryonic period				
Formation of the embryo	21:30	41:00	Formation of the embryo	N
3-4 myotomes	24:00	49:00	3-4 myotomes, formation of optic vesicles	
8-9 myotomes	26:00	54:00	7-8 myotomes	O
23-24 myotomes	33:00	68:00	23-24 myotomes, formation of Kupffer's vesicles	P
28-30 myotomes	36:00	73:20	28-30 myotomes, disappear Kupffer's vesicles	Q
50 < myotomes	47:30	99:00	More than 50 myotomes, formation of heart	R
Hatching period	60:00	120:00	Hatching (50%)	S

(Tricanic methane sulfonate; Syndel Co., Canada)로 마취하여 관찰, 촬영하였으며, 전장은 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 부화율의 환산은 전체 수정란에 대한 부화자어의 개체수를 백분율로 환산하였으며, 기형율은 부화 5일 후부터 기형인 자어를 계수하여 백분율로 환산하였다.

결 과

1. 시험어와 난의 특징

채집한 개체중 시험어로 사용한 암컷의 체장은 410 mm이고, 체중 1,443 g이었으며 (Fig. 1A), 수컷은 체장 370 mm와 410 mm이고, 체중은 1,011 g과 1,251 g으로 (Fig. 1B), 비슷한 크기의 암컷이 수컷보다 체중이 무거웠다. 시험어로 사용한 암컷의 전체 포란수는 34,200개이었고, 성숙된 난 크기는 1.9±0.2 (1.3~2.2) mm이고, 수정된 후의 난은 2.4±0.2 (2.3~2.6) mm이었다. 수정되기 전의 난은 점착성이 없는 밝은 황색이었지만, 수정 후에는 약한 점착성을 가지는 밝은 황색을 띤 구형의 침성란이었다.

2. 난 발생

대황어의 수정란은 수온이 다른 13°C 그룹과 20°C 그룹에

서 비교 실험하였다. 수온 20°C 그룹의 수정란은 30분 후에 물을 완전히 흡수하여 2.4±0.2 (2.3~2.6) mm로 팽창되었다 (Table 1, Fig. 2A). 수정 1시간 후에 세포질이 동물극 (animal pole) 쪽으로 끌려 배반 (blastodisc) 이 형성되었으며 (Fig. 2B), 2시간 후에는 2세포기로 배반에 난할이 일어났다 (Fig. 2C). 4세포기는 2시간 30분 후에 경할을 통하여 형성되었고 (Fig. 2D), 3시간 후에 위할이 이루어져 8세포기에 도달하였고 (Fig. 2E), 3시간 30분 후에 경할이 이루어져 16세포기를 형성하였다 (Fig. 2F). 32세포기는 4시간 후에 (Fig. 2G), 64세포기는 5시간 후에 형성되었으며 (Fig. 2H), 상실기 (morula, 256 세포기) 는 6시간 후에 형성되었고 (Fig. 2I), 이후 난할을 계속하여 8시간 후에는 포배기 (blastula) 에 도달하였다 (Fig. 2J). 12시간 후에는 낭배기 (gastrula) 가 형성되어 식물극 (vegetal pole) 쪽으로 30% 가량 덮기 시작하였으며 (Fig. 2K), 16시간 30분 후에는 50% 가량 덮어 낭배 중기 (middle gastrulation) 에 도달하였다 (Fig. 2L).

수정 20시간 30분 후에는 90% 이상을 덮어 낭배 말기 (late gastrulation) 에 이르렀다 (Fig. 2M). 21시간 30분 후에는 원구가 폐쇄되고 배체 (embryo) 의 윤곽이 뚜렷해졌으며 (Fig. 2N), 24시간 후에는 근절 (myotomes) 이 3~4개가 형성되었다. 26시간 후에는 7~8개의 근절이 생기고, 안포 (optic vesicle) 가 형성되었다 (Fig. 2O). 33시간 후에는 근절이 23~24개로 증가하

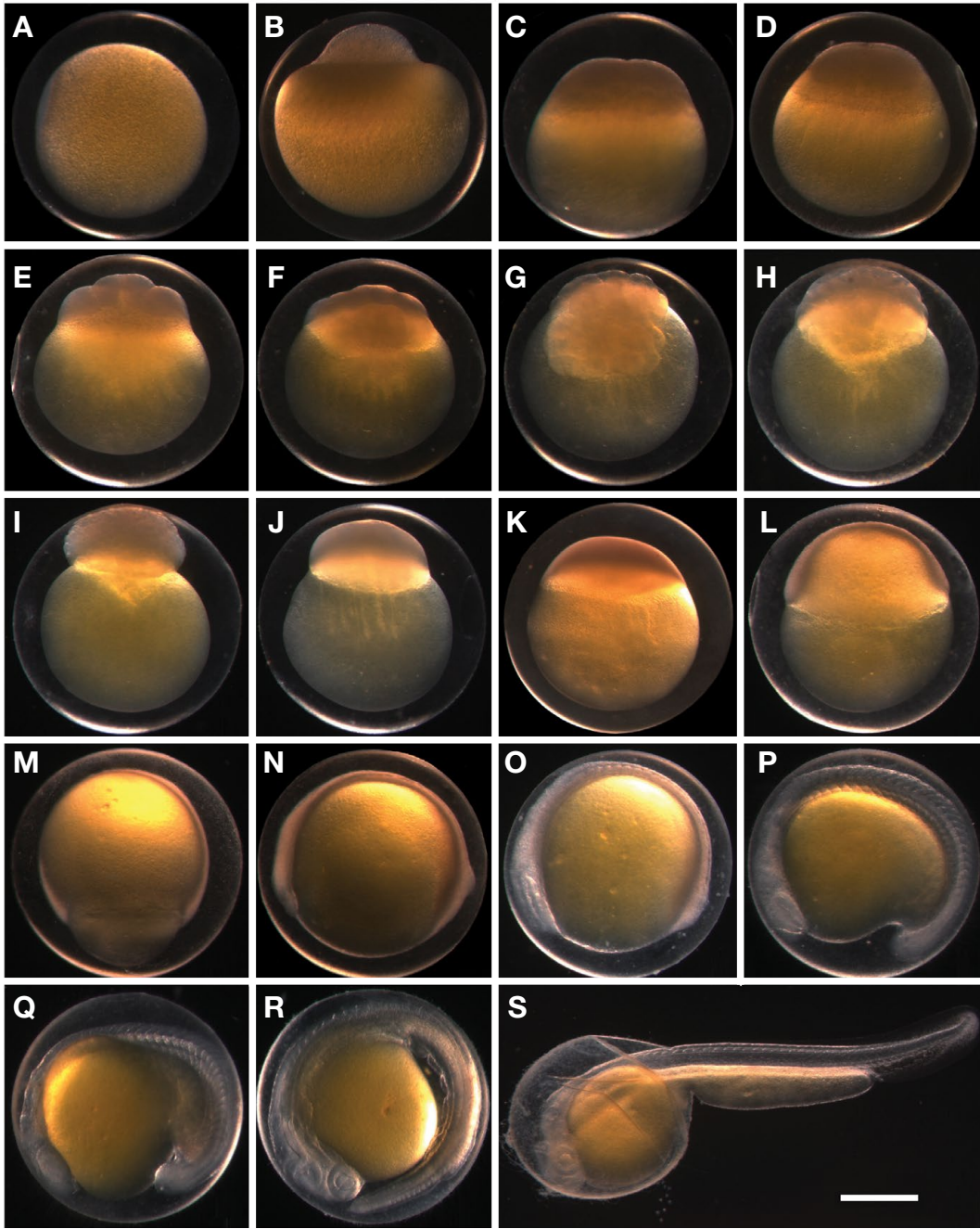


Fig. 2. The egg development of *T. brandtii* at $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Time required for each developmental stage is shown in Table 1. The bar indicates 1 mm.

였고, 꼬리 부분이 난황과 분리되기 시작하였으며, 미병부 뒤쪽으로 Kupper's vesicle이 형성되었다(Fig. 2P). 36시간 후에는 근절수가 28~30개로 증가하였고, 난내 운동이 활발해졌으며 Kupper's vesicle이 사라지고 눈의 렌즈가 형성되었으며, 안포 뒤쪽으로 이포(auditory vesicle)가 형성되었다(Fig. 2Q). 47시간 30분 후에는 근절수가 50개 이상으로 증가하였고 심장이 형성되었으며, 난막 안에서 활발하게 움직이기 시작하였다

(Fig. 2R). 수정 후 60시간에는 꼬리를 이용하여 난막(chorion)을 뚫고 전체 50%의 부화가 완료되었다(Fig. 2S). 첫 부화시간은 55시간 30분 후부터 시작하였으며, 65시간 후에 대부분이 부화하였다.

수온 13°C 그룹은 수정란이 4세포기에 도달하는데 4시간이 소요되었고, 상실기에 도달하는 데는 10시간이 소요되었다. 또한 41시간이 지나서 배체가 형성되었고, 68시간 후에

는 23~24개의 근질이 만들어졌고, 73시간 20분 후에 28~30개 근질이 생성되었다. 수정 120시간 후에는 50%의 수정란이 부화가 완성되어 20°C 시험구보다 2배의 시간이 소요되었다 (Table 1).

3. 자어 및 치어기

1) 전기 자어기

대황어의 부화 직후 자어는 전장(total length, TL) 6.4 ± 0.4 mm ($n=10$)로 거의 투명하고 머리 부분이 난황에 붙어있고, 몸이 약간 굽어진 국자형태였다. 입과 항문은 아직 열리지 않았으며, 꼬리지느러미를 중심으로 등쪽(위쪽)과 배쪽(아래쪽)에 막지느러미가 형성되어 있었고, 난황의 아래쪽(배쪽)에서 심장으로서의 흐름과 심장에서 꼬리지느러미의 1/4 지점까지 혈액의 흐름이 관찰되었다. 이때의 자어는 수조 바닥에 옆으로 가라앉아 있었지만 외부자극에는 반응하였다(Fig. 3A). 수온 20°C 그룹에서 부화 1일 후 자어는 전장 7.6 ± 0.3 mm ($n=10$)로 몸이 일자로 유지되었다. 두부와 난황은 분리되지 않았고, 혈액은 투명하고 심장에서 꼬리지느러미 쪽으로 순환하지만, 기초 부분까지 미치지 않았다. 부화 2일 후는 전장 9.4 ± 0.4 mm ($n=10$)로 자랐고, 두부는 난황과 완전히 분리되었으며, 가슴지느러미가 눈 직경의 1/2 크기로 관찰되었다. 혈액은 붉은색으로 꼬리지느러미 기부까지 순환하였고, 안구에 검은색 색소포가 약하게 침착되었다(Fig. 3B). 부화 3일 후에는 전장 9.9 ± 0.8 mm ($n=10$)로 전장의 약 50% 정도에 난황을 가지고 있었고, 흑색의 색소포는 머리 부분부터 등쪽으로 2열, 난황부위의 위쪽을 중심으로 분포하기 시작하였다. 안구는 전체적으로 검은색으로 침착되었다. 부화 4일 후는 전장 10.7 ± 0.3 mm ($n=10$)이고, 소화관이 완전하지 않아 항문까지 연결되지는 않았다. 가슴지느러미는 눈 크기의 80%이었다(Fig. 3C). 부화 5일 후는 전장 11.0 ± 0.3 mm ($n=10$)이고, 난황 위쪽(등쪽)으로 작은 기포형태의 부레가 나타나기 시작했다. 소화관이 발달하기 시작하여 항문주위의 장에 노란색 물질이 확인되었다(Fig. 3D). 부화 6일 후에는 전장 11.1 ± 0.4 mm ($n=10$)이고, 부레가 발달하여 확실히 관찰되었다. 꼬리지느러미는 7개의 기초가 나타나고, 가슴지느러미는 눈 직경과 비슷하게 자랐으며, 입보다는 항문이 먼저 열렸다(Fig. 3E). 부화 7일 후는 전장 11.5 ± 0.2 mm ($n=10$)이고, 꼬리지느러미 기초는 9~10개 확인되었다. 항문주위의 움직임이 활발하고, 가슴지느러미 기초는 주름형태로 불분명하게 나타난다. 부화 8일 후는 전장 11.6 ± 0.4 mm ($n=10$)이고, 입이 완전히 열리고, 움직임이 활발하였다. 부화 9일 후는 전장 11.7 ± 0.3 mm ($n=10$)이고, 부레는 발달하여 크기가 복강 내 50% 정도를 차지하였고, 꼬리지느러미 기초는 14 (15)개였다. 부화 10일 후는 전장 11.7 ± 0.2 mm ($n=10$)이고, 난황이 거의 흡수되었으며, 꼬리지느러미

의 기초는 18개였다(Fig. 3F). 이때부터 brine shrimp를 공급하였고, 부화자어가 활발히 섭식하기 시작하였다. 수온 13°C 그룹은 부화 10일 후부터 크기에는 큰 변화가 없었으나, 20일 후에 전기자어기가 완성되었고, 활발하게 섭식활동을 시작하였다.

2) 후기 자어기

수온 20°C 그룹은 부화 11일 후에는 전장 11.6 ± 0.5 mm ($n=10$)로 자랐고, 꼬리지느러미 기초는 18 (19)개였다. 난황은 모두 흡수되었으며, brine shrimp를 섭취한 후 소화관을 지나 항문으로 배설하는 모습이 확인되었다. 부화 16일 후에는 전장 11.7 ± 0.9 mm ($n=10$)이고, 꼬리지느러미 기초는 19개였으며, 양 갈래로 갈라지듯 가운데가 움푹 들어가기 시작했다(Fig. 3G). 부화 18일 후에는 전장 11.8 ± 0.3 mm ($n=10$)로 성장하고, 부레가 2개로 나누어지기 시작했다. 부화 22일 후에는 전장 12.3 ± 0.4 mm ($n=10$)이고, 등지느러미에 기초가 3개 나타났다(Fig. 3I). 부화 24일 후에는 전장 12.2 ± 1.0 mm ($n=10$)이고, 흑색소포는 주둥이, 아가미 덮개까지 분포하였다. 꼬리지느러미는 가운데가 전보다 더 패인 상태로 기초가 20 (21)개였으며, 등지느러미 기초는 5개로 나타났다. 항문에서 꼬리지느러미까지 있는 막지느러미에서 불투명하게 뒷지느러미의 형태가 나타나고, 희미하지만 기초가 4개가 나타났다(Fig. 3J). 부화 26일 후의 전장은 13.5 ± 0.7 mm ($n=10$)로 성장하였고, 지느러미 기초수는 꼬리지느러미 21개, 등지느러미 8개, 뒷지느러미 9개가 나타났다. 가슴지느러미도 6개의 연조가 확인되었다. 흑색소포는 입부터 머리 부분, 등지느러미를 지나 꼬리까지 나타나고, 측선, 복부 부분에 주로 분포하였다(Fig. 3K). 부화 30일 후에는 전장 14.4 ± 2.8 mm ($n=10$)이고, 복부 측에 있는 막지느러미에서 반원형의 불투명한 배지느러미 형태가 나타났다(Fig. 2L). 부화 38일 후는 전장 16.6 ± 0.9 mm ($n=10$)이고, 배측의 막지느러미 중에 배지느러미의 형태가 분명해지면서 4개의 기초가 관찰되었다. 수온 13°C 그룹은 후기자어기가 완료되는 시기가 70일 이상 소요되었다.

3) 치어기

수온 20°C 그룹에서 부화 46일 후에는 전장 19.6 ± 2.7 mm ($n=10$)로 성장하였고, 배지느러미 기초 8~9개가 관찰되면서 모든 지느러미 기초수가 정수로 되어, 치어기로 이행하였으며, 배지느러미와 항문 사이, 꼬리지느러미 일부를 제외한 대부분의 막지느러미는 퇴화되었다(Fig. 3M). 이후 치어들은 수온과 먹이섭식에 따라 성장에 차이가 나타났고, 전장의 성장은 매우 완만하였다. 부화 60일 후에는 전장 21.0 ± 3.5 mm ($n=10$)까지 성장하였고, 위쪽(등쪽)은 머리부터 꼬리까지 흑색소포의 분포가 더 조밀하게 형성되고, 중층에서의 유영이 매우 활발하였다(Fig. 3N).

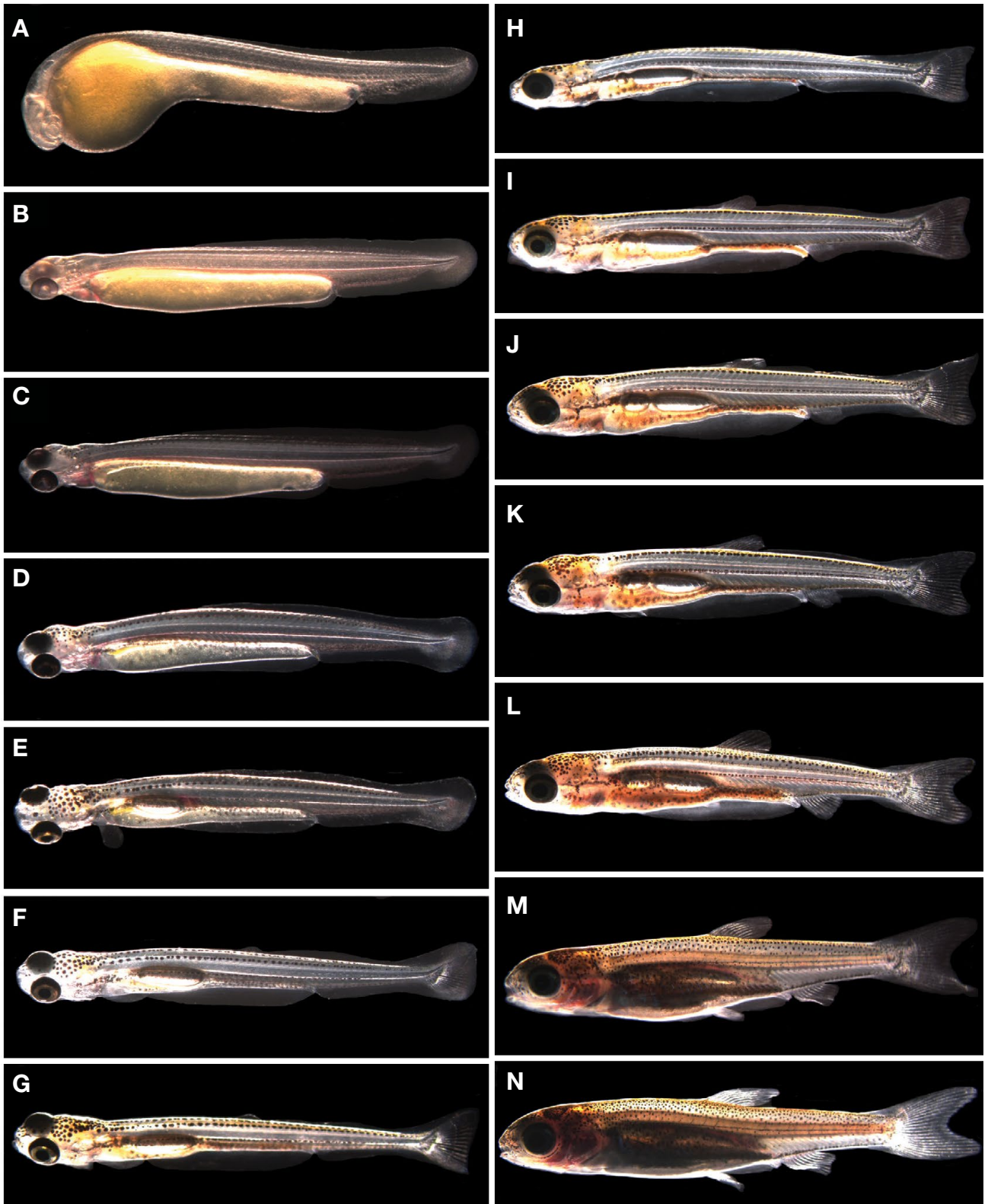


Fig. 3. Larva and juvenile development of *T. brandtii* at $20 \pm 1^\circ\text{C}$. A: Newly hatched prelarva, 6.3 mm TL; B: 2 days after hatching, 9.5 mm TL; C: 4 days after hatching, 10.7 mm TL; D: 5 days after hatching, 10.7 mm TL; E: 6 days after hatching, 11.1 mm TL; F: 10 days after hatching, 11.7 mm TL; G: Postlarva, 16 days after hatching, 12.1 mm TL; H: 20 days after hatching, 12.0 mm TL; I: 22 days after hatching, 12.4 mm TL; J: 24 days, 13.1 mm TL; K: 26 days after hatching, 14.1 mm TL; L: 30 days after hatching, 15.3 mm TL; M: Juvenile, 46 days after hatching, 18.4 mm TL; N: 60 days after hatching, 22.5 mm TL.

4) 초기성장

수온 20°C 그룹에서 사육한 결과 부화 직후 자어가 전장 6.4±0.4 mm (n=10)이었는데, 부화 10일 후에는 전장 11.7±0.2 mm (n=10), 30일 후에는 전장 14.4±2.8 mm (n=10), 60일 후에는 전장 21.0±3.5 mm (n=10), 125일 후에는 54.9±15.8 mm (n=10)로 성장하였고, 성어의 형태와 유사하였다. 부화 236일 후에는 62.2±17.1 mm (n=10)로 성장하였으며, 꼬리지느러미는 연한 황색이었고, 측면에는 옅은 비취빛의 채색이 보이는 어린개체가 되었다(Fig. 4). 수온 13°C 그룹에서는 60일이 경과하는 시기에 전장 18.7±1.4 mm (n=10)로 성장하여 20°C 시험구와 차이가 심하지 않았지만, 125일 후에는 34.9±11.4 mm (n=10)로 성장하였고, 부화 236일 후에는 46.5±8.3 mm (n=10)로 성장하여 사육온도에 따라 성장이 차이를 보였다(Fig. 4).

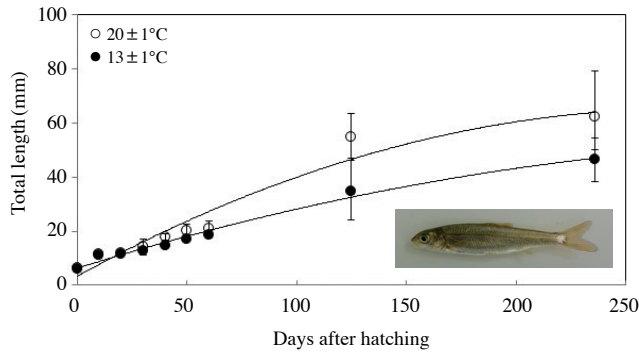


Fig. 4. Early growth curve of *T. brandtii* after hatching at 20±1°C and 13±1°C (Photo: Immature fish of 236 days after hatching, 79.1 mm TL).

4. 부화율과 기형율

대황어의 온도별 부화율과 기형율은 수온 20°C 그룹의 부화율은 34.3%, 기형율은 5.1%이고, 수온 13°C 그룹에서 부화율은 27.5%, 기형율은 2%로 나타나, 20°C 그룹이 부화율과 기형율이 높았다.

고찰

국내에 출현하는 황어속 어류는 황어와 대황어 2종이며, 이 중에 대황어는 동해 북부로 흐르는 하천과 연안에만 제한적으로 분포하고 있으며, 세계적으로는 일본의 북서부와 홋카이도, 러시아의 연해주에 분포하고 국내의 분포지역이 대황어의 최남단 분포지로 알려져 있다(Jeon and Sakai, 1984; Sakai, 1995). 본 연구는 대황어를 수산자원으로 이용하기 위하여, 초기생활사를 중심으로 산란생태를 연구하였다. 대황어 암컷의 포란수는 일본의 Nakamura (1969)와 Sakai (1995) 연구결과와 두만강 수계의 개체(Dai et al., 1982), 러시아 수역에서 조사한 결과(Gavrenkov, 1982)와 대체로 유사하였다(Table 2). 이러한 결과는 대황어의 분포 지역별 차이보다는 친어의 크기에 따른 차이로 추정된다. 대황어의 성숙란 크기는 Nakamura (1969)와 Sakai (1995)의 연구결과와 비슷한 크기였지만, 중국에서 보고한 두만강에서 잡은 대황어의 성숙란 1.3~1.7 mm와는 차이를 보여(Dai et al., 1982) (Table 2), 추후 대황어가 분포하는 다양한 수역에서 채집된 성숙란을 비교하여야 할 것으로 사료되었다.

Table 2. Comparison of egg and larva development characteristics in *Tribolodon* in Korea and Japan

Stage	Korea		Japan		
	<i>T. brandtii</i> (This study)		Nakamura (1969)		<i>T. brandtii</i> (Sakai, 1995)
	20±1°C	13±1°C	<i>T. brandtii</i> *	<i>T. hakonensis</i> **	
Standard length of parental fish (mm)	410		350~410	1) 85~135 2) 202, 206 3) 250~290	398/228
Body weight of parent fish (g)	1,443.2		-	-	-
Fecundity	34,200		30,000~50,000	1) 723~5,981 2) 6,000~6,780 3) 5,000~15,000	70,078/26,834
Egg diameter (mm)	1.9±0.2 (1.3~2.2)		1.8~2.0	1.8~2.0	1.8 (1.7~2.1)
Spawned eggs (mm)	2.4±0.2 (2.3~2.6)		2.5~2.7	2.5~2.6	2.4 (2.1~2.7)
Time of hatching (hr:min)	60:00	120:00	120:00	120:00	-
Hatching size (mm)	6.4±0.4 (5.3~6.9, n=10)	6.1±0.2 (5.4~6.4, n=10)	6.8	7.0	5.8 (5.3~6.3, n=10)
Days until post larva (days)	11	20	13	13	21
Days until juvenile	46 days	>70 days	2 months	2 months	50 days

*Description of *Tribolodon taczanowskii*, ** 1) the river of Tama, 2) the river of Chikuma, 3) the lake of Biwa.

온도가 난 발생에 미치는 영향에 대하여 조사하기 위하여 수온 20°C와 13°C 그룹에서 조사한 결과는 13°C 그룹은 Nakamura (1969)의 결과와 유사하였으나 20°C 그룹은 차이를 보였다 (Table 2). 이러한 결과는 부화관리에서 수온의 중요성을 확인할 수 있었다. 부화 수온은 어류의 부화율 차이와 기형을 유발하는 원인이 되기도 하는데, 본 연구에서 대황어의 온도별 부화율과 기형율은 20°C 그룹에서 약간 높게 나타났다. 일반적으로 어류의 수정란은 수온이 높을수록 부화시간이 단축되지만, 부화율과 기형율이 높아지는 결과는 수정란의 상태, 실험조건이나 관리 과정의 차이 등에 의하여 다를 수 있어 추후 좀 더 균일한 조건에서 반복적인 실험이 필요할 것으로 본다. 부화자어의 크기에 대하여 보고된 이전연구와 비교한 결과 일본에서 수온 11.0~17.0°C에서 실험한 부화 직후 자어 크기와, 수온 14.5~27.5°C에서 부화한 자어의 크기가 본 시험 결과와 비교하면 약간 작았다 (Nakamura, 1969; Sakai, 1995) (Table 2).

부화된 대황어의 초기성장에 대한 사육 수온별 차이를 일본의 대황어를 대상으로 사육 시험한 결과와 비교하였는데, 자연수온(11.0~17.0°C)에서 후기자어기까지 13일, 치어기는 60일이 소요된다고 하였고 (Nakamura, 1969), 수온 14.5~27.5°C에서 사육하였을 때 후기자어기까지 21일이 소요되었지만 치어기는 50일이 소요되었다고 하여 (Sakai, 1995), 본 실험결과와 일부 차이를 보였다 (Table 2). 이러한 차이는 사육기간에 일정한 수온을 유지한 본 실험과 사육기간 중에 수시로 변화하는 수온에서 사육한 차이로 사료되었다 (Table 2). 한편 사육수온을 20°C로 유지하면서 사육한 결과 일본 자연수온에서 시험하여 부화 13일 후에 11.0 mm, 2개월 후에 22.4 mm라고 보고한 결과 (Nakamura, 1969)와 부화 14일 후에 평균 10.5 mm (9.9~11.4 mm, n=27), 25일 후에 12.3 mm (11.5~13.1 mm, n=42), 50일 후에 15.2 mm (14.5~20.7 mm, n=20)까지 성장한다는 결과 (Sakai, 1995)와 큰 차이를 보이지 않았으나, 일본에서 수행한 결과는 본 실험과 달리 사육수온의 차이가 심하여 직접적인 비교는 어려웠다. 이후 사육을 계속한 결과 20°C 시험구에서는 부화 125일 후에는 체색이 은백색이며 전장 54.9±15.8 mm (n=10)로 성장하였고, 부화 236일 후에는 전장 62.2±17.1 mm (n=10)로 성장하였다. 그에 비해 13°C 시험구에서는 125일 후에 전장 34.9±11.4 mm (n=10)였으며, 부화 236일 후에는 전장 46.54±8.31 mm (n=10)로 성장하여 20°C 시험구와 성장에 큰 차이를 보였다 (Fig. 4). 이는 5개월 사육한 결과 전장 30.3 mm라고 보고한 일본의 결과보다 빠른 성장을 보였다 (Nakamura, 1969). 이는 치어기 이후에는 사육 수온, 먹이공급 등 사육관리에 따른 성장 차이로 사료되었다.

한편 자연수계에서 조사한 결과 만 1년에 60~100 mm, 2년에 150~200 mm, 3년에 300 mm 이상 성장한다 (Nakamura, 1969)는 결과와 부화 후 2년 (평균 71.3±9.1 mm)을 강에서 자

라다가 봄에서 여름 사이에 바다로 내려가 연안에서 성장한 후 강으로 소상하여 산란에 참여하는데, 산란장에서 발견된 어미들은 5~10년생이었으며, 일본에 분포하는 모든 황어속 어류 중에 대황어가 가장 크게 자란다고 보고하였다 (Sakai, 1995). 추후 이러한 연구결과와 비교하기 위하여 우리나라에 분포하는 대황어의 자연 분포지와 산란수역에서 집중적인 산란생태, 회유 생활사, 성장 등에 대한 추가 연구가 필요하였다.

요 약

한반도에 출현하는 대황어 *Tribolodon brandtii*의 난 발생과 초기생활사를 연구하였다. 수정란은 난황이 황색이며, 약한 점착성을 가지는 구형의 침성란으로 평균크기는 2.4±0.2 mm이었다. 수온 20±1°C에서 부화 50%를 기준으로 60시간에 부화가 완성되었으며, 부화 직후 자어의 크기는 6.4±0.4 mm이었다. 부화 10일 후 전장 11.7±0.2 mm으로 성장하였고, 난황이 거의 흡수되었다. 부화 46일 후에는 전장 19.6±2.7 mm로 성장하였고, 모든 지느러미 기조가 정수에 도달하였다. 부화 125일 후에는 전장 54.9±15.8 mm로 성장하였고, 성어와 형태가 유사하였으며, 부화 236일 후에는 전장 62.2±17.1 mm로 성장하였고, 체색이 성어와 유사하였다.

사 사

이 논문은 2018년도 국립수산물과학원 수산시험연구사업 내 수면 수산자원보호구역 환경 및 수산자원 연구(R2018032)의 지원으로 수행된 연구입니다. 현장조사 및 사육에 도움을 주신 중앙내수면연구소 연구원들에게 감사드립니다.

REFERENCES

- Balon, E.K. 1985. The theory of saltatory ontogeny and life history models revisited. In: Balon, E.K. (ed.), Early Life Histories of Fishes: New developmental, ecological and evolutionary perspective. Dr W. Junk Publishers, pp. 13-30.
- Blaxter, J.H.S. 1974. The early life history of fish. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. 765pp.
- Chyung, M.K. 1977. The fishes of Korea. Il-ji Publishing Co., Seoul. pp. 180-181. (in Korean)
- Dai, D., Y. Zhang and H. Huang. 1982. Biological studies of the far-eastern dace, *Leuciscus brandtii* (Dybowski), in Tumen river. Acta Zool. Sin., 28: 283-292. (in Chinese)
- Eschmeyer, W.N. (ed.). 2016. Catalog of fishes. California Academy of Science. San Francisco. <http://research.calacademy.org/>

- research/ichthyology/catalog/fisheatmain.asp. Accessed 22 January 2018.
- Gavrenkov, Yu.I. 1982. Reproductive ecology of pacific redbfin, *Tribolodon brandti*, and large-scaled redbfin, *Tribolodon hakonensis*, J. Ichthyol., 22: 37-41.
- Han, K.H., K.B. Seong, J.T. Park, J.K. Cho, B.Y. Noh and S.H. Oh. 1999. Seedling production of sea rundace, *Tribolodon hakonensis*. 1. Spawning behavior and early life history. Journal of Research Institute of Industrial Technology and Regional Development Yosu National University, 8: 245-251. (in Korean)
- Hong, Y.K., M.H. Ko, S.Y. Park and I.C. Bang. 2015. Egg development and early life history of the endangered species, *Microphysogobio rapidus* (Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 27: 86-94. (in Korean)
- Ikeda, H. 1938. Statistical observations on the species of the genus *Tribolodon* in Japan and some notes on their distribution. Sci. Rep. Tokyo Bunrika Daigaku (B), 3: 163-192
- Ishizaki, D., T. Otake, T. Sato, T. Yodo, M. Yoshioka and M. Kashiwagi. 2009. Use of otolith microchemistry to estimate the migratory history of Japanese dace *Tribolodon hakonensis* in the Kamo river, Mie prefecture. Nippon Suisan Gakkaishi, 75: 419-424. (in Japanese)
- Jeon, S.R. and H. Sakai. 1984. On the distribution and revision of genus *Tribolodon* (Cyprinidae) from Korea. Korean J. Limnol., 17: 11-21. (in Korean)
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim. 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyo-Hak Publishing Co., Seoul, 615pp. (in Korean)
- Kimmel, C.B., W.W. Ballard, S.R. Kimmel, B. Ullmann and T.F. Schilling. 1995. Stages of embryonic development of the zebrafish. Dev. Dyn., 203: 253-310.
- Ko, M.H., H.R. Kim, S.Y. Park and I.C. Bang. 2017. Egg development and early life history of the natural monumnet species *Hemibarbus mylodon* (Pisces: Cyprinidae) in Korea. Korean J. Ichthyol., 29: 101-108. (in Korean)
- Lee, G.Y., S.I. Jang, H.W. Park, H. Ryu and J.N. So. 1989. Isozyme patterns in the ontogenic stage and adult tissues of the dace, *Tribolodon hakonensis* by electrophoresis. Korean J. Genetics, 11: 73-86.
- Lee, S.A., W.O. Lee and H.Y. Suk. 2012. Genetic differentiation between up- and downstream populations of *Tribolodon hakonensis* (Pisces; Cyprinidae). Kor. J. Env. Eco., 26: 475-483.
- Lee, W.O., K.H. Kim, J.M. Back and M.Y. Song. 2013. Egg development and early life history of *Zacco koreanus* (Pisces: Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 25: 200-207. (in Korean)
- Mori, T. and K. Uchida. 1934. The fishes of Tyosen. Journal of Chosen Natural History Society, 19: 17. (in Japanese)
- Mori, T. 1952. Check list of the fishers of Korea. Memoirs of the Hyogo University of Agriculture, 1: 49.
- Nakamura, M. 1969. Cyprinid fishes of Japan: Studies on the life history of cyprinid fishes of Japan. Research Institute of Natural Resources, Tokyo, 455pp. (in Japanese)
- Sakai, H. 1995. Life-histories and genetic divergence in three species of *Tribolodon* (Cyprinidae). Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 42: 1-98.
- Sakai, H. and K. Hamada. 1985. Electrophoretic discrimination of *Tribolodon* species (Cyprinidae) and the occurrence of their hybrids. Japanese J. Ichthyol., 32: 216-224.
- Sasaki, T., Y.P. Kartavtsev, S.N. Chiba, T. Uematsu, V.V. Sviridov and N. Hanzawa. 2007. Genetic divergence and phylogenetic independence of far eastern species in subfamily Leuciscinae (Pisces: Cyprinidae) inferred from mitochondrial DNA analyses. Genes Genet. Syst., 82: 329-340.
- Uchida, K. 1939. The fishes of Tyosen. Part 1. Nematognathi, Eventhognathi, Bull. Fish. Exp. Sat. Gov. Gener. Tyosen. 6, 458pp. (in Japanese)