

쌀미꾸리(*Lefua costata*)의 산란기 특징 및 초기생활사^{1a}

김형수² · 한미숙³ · 고명훈^{4*}

Spawning Period Characteristics and Early Life History of the Eight Barbel Loach, *Lefua costata* (Pisces: Balitoridae)^{1a}

Hyeong-Su Kim², Mee-Sook Han³, Myeong-Hun Ko^{4*}

요약

본 연구는 우리나라에 서식하는 쌀미꾸리(*Lefua costata*)의 산란기 특징 및 초기발달과정을 밝히고자 2018년 1월부터 12월까지 강원도 강릉시 옥계면 주수천 일대에서 수행되었다. 산란기는 생식소성숙도 변화와 당년생 치어 출현, 난경의 분포 등을 고려하여 5월부터 8월로 추정되었고, 다회 산란형이었다. 성비는 암컷 1,117개체, 수컷 879개체가 채집되어 1 : 0.79였다. 산란기 동안 확인된 난경은 0.24-0.93 mm로 성숙란과 미성숙란이 함께 확인되었다. 성숙란의 크기는 0.71±0.02 mm, 포란수는 평균 1,786±818 (n=31)개였다. 난 발달과정을 관찰한 결과 수정란은 점착성을 띤 회색의 분리침성난으로 난경은 0.76±0.03 mm였다. 25℃에서 수정 후 34시간(50%) 후에 부화하였으며, 부화직후 전기자어 크기는 전장 2.7±0.11 mm였다. 부화 후 4일에는 전장 4.5±0.16 mm로 난황이 모두 흡수되어 후기자어로 이행하였다. 부화 후 20일에는 전장 11.5±0.67 mm로 모든 지느러미 기조가 정수가 되어 치어기로 이행하였다. 부화 후 100일에는 전장 49.8±2.60 mm로 외형과 체측무늬는 성어와 비교적 유사하였다.

주요어: 포란수, 성숙난 크기, 난발달 과정

ABSTRACT

This study was conducted to elucidate spawning period characteristics and early life development of eight barbel loach, *Lefua costata* (Balitoridae) at the Jusucheon stream, Okgye-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do, Korea between January and December in 2018. The spawning period was estimated to be from May to August, considering the change in the gonad-somatic index, the appearance of young fry, and frequency distribution in egg diameter. It was a multi-spawning type. The gender ratio was 1:0.79 with 1,117 females and 879 males collected. The egg size was 0.24-0.93 mm, with mature and immature eggs found during the spawning period. The size of mature eggs was 0.71±0.02 mm, and the average number of fecundity was 1,786±818 (n=31). Observation of the egg development

1 접수 2021년 3월 25일, 수정 (1차: 2021년 5월 19일), 게재확정 2021년 6월 7일

Received 25 March 2021; Revised (1st: 19 May 2021); Accepted 7 June 2021

2 국립수산물품질관리원 첨단양식실증센터 연구사 Advanced Aquaculture Research Center, National Institute of Fisheries Science, 55 Yeomyeongro 25 beongil, Jinhae-gu Changwon-si 51688, Korea (kimk2k@korea.kr)

3 고수생태연구소 대표이사 Kosoo Biology institute, 49 Mokdongjungangnamro 14 gagil, Yangcheon-gu, Seoul-si, 07955, Korea (kosoeco@gmail.com)

4 고수생태연구소 소장 Kosoo Biology institute, 49 Mokdongjungangnamro 14 gagil, Yangcheon-gu, Seoul-si, 07955, Korea (hun7146@gmail.com)

a 이 논문은 2021년도 국립수산물품질관리원 수산시험연구사업 바이오플라를 이용한 담수양식 기술개발(R2021015)의 지원으로 수행된 연구임

* 교신저자 Corresponding author: hun7146@gmail.com

showed that the fertilized eggs were the sticky, gray, segregated, and demersal type with 0.76 ± 0.03 mm in diameter. The hatching of the embryos began at about 34 hours (hatching rate 50%) after fertilization underwater temperature of 25°C . The average length of the newly hatched pre-larvae was 2.7 ± 0.11 mm. The average length of pre-larvae at 4 days after hatching was 4.5 ± 0.16 mm, and the yolk sac was completely absorbed and entered the post-larvae stage. At 20 days after hatching, the average length of post-larvae was 11.5 ± 0.67 mm, and their fin rays were formed before they transitioned to the juvenile stage. At 100 days after hatching, the average length reached 49.8 ± 2.60 mm, and the appearance and the lateral sideband patterns were similar to those of the adult fish.

KEY WORDS: FECUNDITY, MATURE EGGS SIZE, EGG DEVELOPMENT

서론

종개과(Balitoridae)는 잉어목(Cypriniformes), 미꾸리상과(Cobitoidea)에 속하며 전 세계에 59속 590종이 보고되어 있고(Nelson *et al.*, 2006), 우리나라에는 쌀미꾸리(*Lefua costata*), 종개(*Orthrias toni*), 대륙종개(*O. nudus*) 3종이 서식한다(Kim *et al.*, 2005; Kim and Park, 2007). 쌀미꾸리속(*Lefua*) 어류는 전 세계에 쌀미꾸리, *L. echigonia*, *L. torrentis*, *L. tokaiensis* 4종이 보고되었고 우리나라와 일본, 중국, 러시아 시베리아에 서식하는데(Hosoya, 2019), 본 연구종인 쌀미꾸리는 우리나라 전역과 중국, 러시아 시베리아의 수심이 얇고 수초가 많은 농수로나 늪, 호수의 진흙 바닥에 주로 서식하고 수서곤충을 섭식하는 것으로 알려져 있다(Choi, 1990; Kim *et al.*, 2005; Kim and Park, 2007; Hosoya, 2019; Fishbase, 2020).

국내 쌀미꾸리에 대한 연구는 분류학적 연구(Yang *et al.*, 1991; Kim, 2001; Lee, 2011)와 간략한 생물학적 특징만이 보고되었다(Uchida, 1937; Choi, 1990; Kim, 1997). 과거 제주도를 포함한 전국에 넓게 서식하였으나(Choi, 1990), 최근 농경지 정리 등으로 인해 서식지가 많이 감소하고 있어 적색자료집(red list)에서는 2011년 준위협종(NT), 2019년 관심대상종(LC)으로 평가된 바 있다(NIBR, 2011; 2019). 그 외 본 종의 초기생활사 연구(Park *et al.*, 2020)가 보고되었으나 생태에 대한 연구는 이루어지지 않았다.

어류의 생태학적 연구는 종의 생물학적 특징 및 생물들 간 생태적 연관성을 밝히기 위해 주로 수행되었는데(Kim, 1997; Moyle and Cech, 2000) 최근 연구는 하천 건강성 평가 및 하천복원사업의 중요한 기초데이터로 활용되고 있다(Park *et al.*, 2009; Choi *et al.*, 2011; Lee and Choi, 2015; NIER, 2019). 어류의 초기생활사 연구는 종의 생물학적 특징과 근연종과의 분류학적 유연관계를 밝히기 위해 주로 수행되었으며(Balon, 1985; Aoyama and Doi, 2011; Ko *et al.*, 2017b), 최근에는 멸종위기종의 인공증식 기술 개발의 일환으로 연구되고 있다(ME, 2006; 2009; MLTM,

2010; Ko *et al.*, 2013; 2017a).

따라서 본 연구에서는 아직까지 연구가 거의 이루어지지 않은 쌀미꾸리의 성비, 산란기 특징, 초기생활사 등을 연구하여 생물학적 특징을 밝히고 근연종과 비교·논의하고자 하였다.

연구방법

1. 채집 및 산란기 특징

조사는 쌀미꾸리가 다수 서식하고 있는 강원도 강릉시 옥계면 남양리 주수천에서 2018년 1월부터 12월까지 족대(망목 4×4 mm)를 이용하여 매달 15일을 기준으로 채집하였다. 채집된 개체는 전장과 체중, 성별 등을 조사한 후 생식소 분석에 필요한 일부 개체는 10% 포르말린에 고정하고 그 외 모든 개체는 바로 방류하였다. 성비는 암수가 구별되는 만 1년생 이상의 개체들을 기준으로 계산하였으며 χ^2 검정을 통하여 성비 1 : 1 유의성을 확인하였다. 매달 만 2년생 이상의 암컷과 수컷을 각각 7~10개체를 10% 포르말린에 고정한 후 실험실로 옮겨 생식소성숙도(gonadosomatic index, GSI=gonad weight/body weight×100)를 계산하였으며, 산란기는 생식소성숙도와 당년생 치어의 크기 등을 고려하여 추정하였다. 포란수와 난경은 생식소성숙도가 가장 높은 4월에 채집된 개체로 계수 및 계측하였는데, 성숙난의 크기는 전장별로 10개체를 선별하여 30~50개를 측정하였다. 수온은 매달 15일 전후로 정오를 기준으로 디지털 온도계(T-250A, ASAHI, Japan)를 이용하여 측정하였다.

2. 초기발달과정

초기발달과정은 2018년 6월에 족대(망목 4×4 mm)를 이용하여 친어를 채집하였으며, 이후 실험실로 운반하여 수온 $23\sim 25^\circ\text{C}$ 로 사육·관리하였다. 성숙한 암·수 개체에 1 kg 당 Ovaprim (Syndel, Canada) 0.5 ml을 주사한 후, 12시간

경과 후에 암컷에서 성숙란을 채란하고 여기에 수컷에서 얻은 정액을 Ringer solution에 100배 희석시킨 후 건식법으로 수정시켰다. 개체당 산란수를 개수하였으며, 성숙란의 크기는 20개를 측정하여 평균치를 계산하였다. 인공수정된 수정란은 패트리디쉬(지름 15 cm)에 분산 수용하여 난발생과 자어기를 진행시켰고, 이후 성장에 따라 순차적으로 수조(45×25×22 cm, 60×45×45 cm)에 옮겨 사육하였다. 물은 측면여과기와 외부여과기를 이용하여 여과하였으며, 사육수온은 25℃로 관리하였다. 먹이는 윤충(Rotifer)과 알테미아(*Artemia* sp.) 유생, 배합사료를 순차적으로 공급하여 사육하였다. 수정란과 자·치어의 발달단계는 Kim (1997)과 Charles *et al.* (1995)에 따라 구분하였고, 디지털카메라(eXcope T500, China)가 부착된 해부현미경(Olympus CX33, Japan)으로 촬영하고 관찰·측정하였다. 발달단계별 크기는 무작위로 10개체를 선별하여 마취제 MS-222(Sindell, Canada)로 마취한 후 전장을 측정하였다.

결 과

1. 성비

1월부터 12월까지 채집된 개체를 암컷과 수컷, 치어로 구분하였는데(Table 1), 만 1년생 이상의 개체는 수컷 체측에 검은 줄이 생성되어 암컷과 구분되었다. 조사기간 동안 채집된 암컷은 1,117개체, 수컷은 879개체로 성비(♂/♀)는 0.79로 나타나 암·수간의 성비는 유의한 차이를 보여 1 : 1이 아니었다($\chi^2=28.38, P<0.05$). 월별로는 1월과 4월, 5월, 9월, 11월, 12월은 유의한 차이를 보이지 않아 1 : 1이었으나($\chi^2<3.84, P<0.05$), 2월과 3월, 6~8월, 10월은 유의한 차이를 보여 1 : 1이 아니었다($\chi^2>3.84, P<0.05$).

2. 생식소 성숙 및 산란기

암컷의 생식소성숙도(GSI)는 1월 10.0±2.30% 이었으나 이후 급격히 상승하여 4월 18.6±4.64%로 정점에 도달하였다. 5월부터 감소하기 시작하여 6월 12.9±3.20%, 8월 6.4±2.27%로 최저치를 보였고 10월까지 6.5~6.6%로 낮게 유지되다 11월부터 상승하기 시작하여 12월에 12.3±0.80%에 도달하였다. 수컷은 1월부터 2월까지 5.0~5.2%로 낮았으나 이후 상승하여 4월부터 7월까지 5.6~6.4%로 높게 나타났으나 8월에 3.8±2.27%로 최저치를 보였고, 9월 이후 다시 상승하여 11월과 12월에는 6.1~6.6%에 도달하였다(Figure 1). 당해연도에 태어난 당년생 치어는 6월 전장 10~20 mm (n=8)의 개체가 처음 관찰되었으며, 7월 10~32 mm (n=33), 8월 6~34 mm (n=103),

Table 1. The sex ratio of *Lefua costata* in the Jusucheon, Okgye-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do, Korea, from January to December, 2018

Month	Juvenile	Female	Male	Sex ratio (♂/♀)	χ^2
Jan.	63	53	71	1.34	2.61
Feb.	57	71	34	0.48	13.04
Mar.	41	111	62	0.56	13.88
Apr.	59	80	83	1.04	0.06
May	41	97	100	1.03	0.05
Jun.	46	146	101	0.69	8.20
Jul.	34	119	82	0.69	6.81
Aug.	103	158	108	0.68	9.40
Sep.	80	64	55	0.86	0.68
Oct.	151	90	54	0.60	9.00
Nov.	78	53	49	0.92	0.16
Dec.	96	75	80	1.07	0.16
Total	849	1,117	879	0.79	28.38

* The critical value for χ^2 goodness-of-fit test of equal numbers of females and males (df=1) at 95% significance is 3.84.

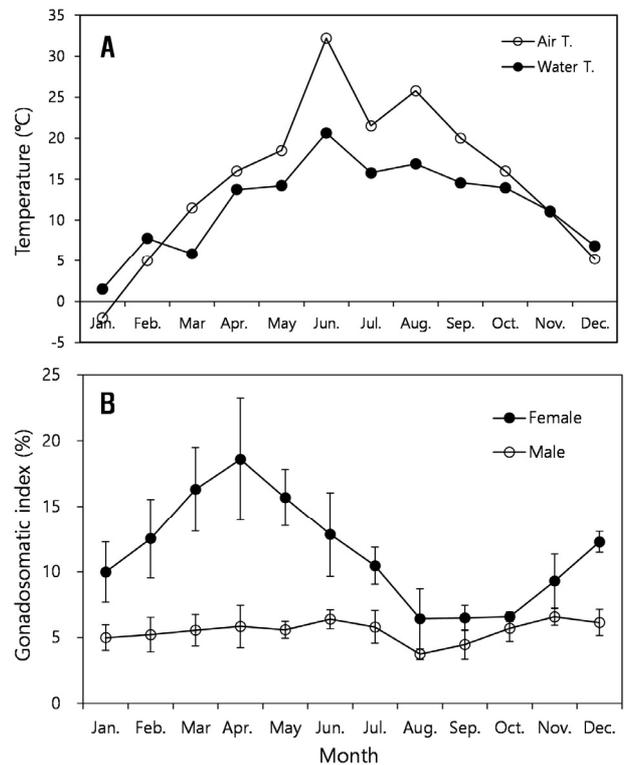


Figure 1. Change in temperature (A) and gonadosomatic index (GSI, B) of *Lefua costata* in the Jusucheon, Okgye-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do, Korea, from January to December, 2018.

9월 16~38 mm (n=80)로 크기가 작은 전장 15mm 이하의 개체들은 6~8월에 확인되었고 전장범위는 6월 이후 급격히 증가되었다. 따라서 산란기는 암·수의 생식소성숙도와 당해연도 당년생 치어의 크기와 출현시기 등을 고려하면 5월부터 8월까지로 추정되었으며, 산란기의 수온은 14.2~21.6°C였다.

3. 난경과 포란수

4월에 채집된 암컷 전장 66.2 mm의 난경을 모두 측정한 결과 난경은 0.24~0.93 mm 범위로 나타났고, 0.60~0.92 (0.72) mm는

성숙란, 0.24~0.59 (0.44) mm는 미성숙란으로 구분되었다 (Figure 2A). 4월에 채집된 10개체의 성숙란의 크기를 측정해 결과 전장의 크기와 상관없이 0.71±0.02 (0.68~0.75) mm (n=10)로 비교적 유사하였다. 4월에 채집된 전장빈도분포도를 볼 때 암컷은 전장 42~55 mm는 만 1년생, 56~65 mm는 만 2년생, 66~75 mm는 만 3년생, 78~93 mm는 만 4년생 이상으로 추정되었다(Figure 2B). 암컷의 생식소는 만 1년생 이상의 개체부터 성숙하였으며, 포란수는 만 1년생 916±412 (n=6)개, 만 2년생 1,548±326 (n=11)개, 만 3년생 1,845±366 (n=9)개, 만 4년생 이상은 3,247±559 (n=5)개로 연령이 증가하면서 급격히 상승하였고 평균 1,786±818 (n=31)개였다(Figure 2C).

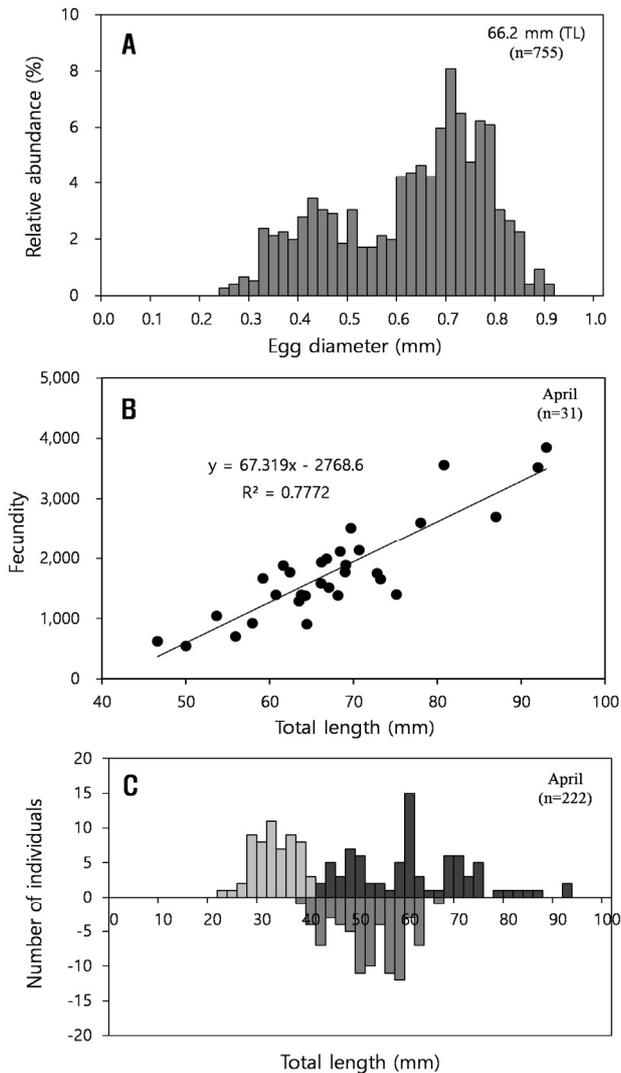


Figure 2. Frequency distribution of egg diameter (66.2 mm (TL), A) and total length (B), and fecundity (C) of *Lefua costata* in the Jusucheon, Okgye-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do, Korea, April, 2018.

4. 초기발달과정

1) 수정란 발달과정

Ovaprим을 주사한 성숙한 암컷은 12시간 이내에 성숙란이 잘 배란되었으며 난질도 양호하였다. 성숙란은 회색의 점착성이 있는 분리침성란으로 회색이었고 산란수(n=8)는 1,038±478 (574~1,752)개, 난경은 0.76±0.03 (n=20) mm였다. 인공수정된 쌀미꾸리의 수정란은 물을 흡수하여 10분 뒤에 1.19±0.05 mm (n=10)로 팽창하였다(Figure 3A). 40분 후에 배반(blastodisc, 1세포기)이 형성되었고(Figure 3B), 2세포기는 52분 후에 동물극(animal pole)에 난할이 일어나 형성되었으며(Figure 3C), 4세포기는 1시간 05분 후에 경할을 통하여(Figure 3D), 8세포기는 1시간 18분 후에(Figure 3E), 16세포기는 1시간 30분 후에(Figure 3F), 32세포기는 1시간 43분 후에(Figure 1G), 64세포기는 1시간 55분 후에(Figure 3H) 형성되었다. 128세포기는 2시간 10분 후에(Figure 3I), 상실기(morula, 256세포기)는 2시간 25분 후에 형성되었고(Figure 3J), 이후 난할을 계속하여 4시간 30분 후에는 포배기(blastula)가 형성되었다(Figure 3K). 6시간 40분 후에는 낭배기(gastrula)가 형성되어 세포질이 식물극(vegetal pole) 쪽으로 뿔기 시작하였으며(배의 피포 50%, Figure 3L), 이후 7시간 30분 후에 낭배 중기(70%, Figure 1M)로, 8시간 30분 후에는 낭배 말기로 90% 이상을 뿔었다(Figure 3N). 10시간 후에는 배체(embryo)가 형성되었고(Figure 3O), 11시간 40분 후에는 3~4개의 근절(myotomes)이 생기고 안포(optic vesicle)가 형성되었다(Figure 1P). 12시간 50분 후에는 8~9개의 근절이(Figure 3Q), 16시간 후에는 18~20개의 근절이 생기고 이포(auditory vesicle)와 Kupper's vesicle이 형성되었다(Figure 3R). 이후 꼬리가 난황에서 분리·발달하면서 움직이기 시작하였고, 19시간 후에는 27~30개의 근절로 눈에 렌즈가 형성되고 뇌가 분화되었으며 Kupper's vesicle이 사라졌다(Figure 3S). 22시간 후에는 심장이 형성되어 뛰기 시작하였다(Figure 3T). 30시간 후부터 꼬리를 이용하여 난막을 찢고 부화하였고,

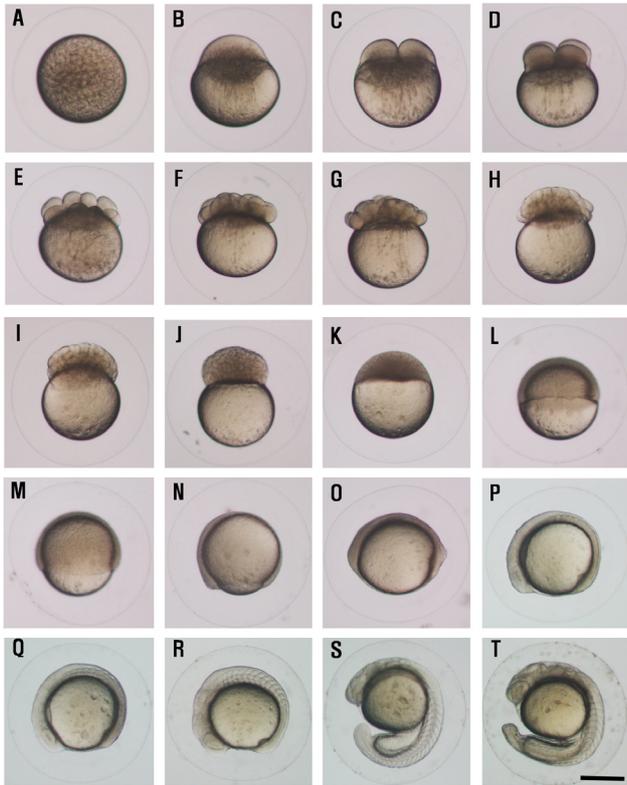


Figure 3. Egg development and hatching of *Lefua costata* at 25°C of water temperature. The bar indicates 0.5 mm. A: 10 min, swelling; B: 40 min, blastodisc; C: 52 min, 2 cells; D: 1 h 5 min, 4 cells; E: 1 h 18 min, 8 cells; F: 1 h 30 min, 16 cells; G: 1 h 43 min, 32 cells; H: 1 h 55 min, 64 cells; I: 2 h 10 min, 128 cells; J: 2 h 25 min, morula (256 cells); K: 4 h 30 min, blastula; L: 6 h 40 min, early gastrulation (50% epiboly); M: 7 h 30 min, middle gastrulation (70% epiboly); N: 8 h 30 min, late gastrulation (90% epiboly); O: 10 h, formation of the embryo; P: 11 h 40 min, 3-4 myotomes, formation of optic vesicles; Q: 12 h 50 min, 8-9 myotomes; R: 16 h, 18-20 myotomes, formation of auditory vesicles and Kupffer's vesicles; S: 19 h, 28-30 myotomes, disappear Kupffer's vesicles, formation of eye lens and specialization of brain; T: 22 h, Formation of heart (beating).

34시간 후에 50%, 38시간 후에 100% 부화하였다.

5. 자어와 치어의 발달

1) 전기자어기(pre-larva stage)

부화직후의 전기자어는 전장 3.1±0.11 (2.50~3.13) mm



Figure 4. Larva and juvenile development of *Lefua costata* at water temperature 25°C. The bar indicates 1 mm. L₁: 0 day, 3.01±0.11 mm, pre-larva stage, (TL); L₂: 1 day, 3.7±0.09 mm; L₃: 2 days, 4.2±0.13 mm; L₄: 3 days, 4.4±0.12 mm; L₅: 4 days, 4.5±0.16 mm, post-larva stage; L₆: 5 days, 4.6±0.19 mm; L₇: 7 days, 5.0±0.16 mm; L₈: 10 days, 6.1±0.55 mm; L₉: 15 days, 8.0±0.45 mm; L₁₀: 20 days, 11.5±0.67 mm, juvenile stage; L₁₁: 30 days, 15.6±1.29 mm; L₁₂: 50 days, 25.9±2.18 mm; L₁₃: 100 days, 47.1±2.60 mm.

(n=10)로 몸은 무색으로 앞쪽에 구형의 큰 난황이 있었고 몸의 중후반부에는 막지느러미가 나타나며 입과 항문은 열리지 않았다(Figure 4L₁). 부화 후 1일째는 전장 3.7±0.09 mm (n=10)로 난황이 50%로 축소되고 안경 크기의 가슴지느러미가 관찰되었으며 눈이 검게 착색되고 온몸에 흑색포가 침적되었다(Figure 4L₂). 부화 후 2일째는 전장 4.2±0.13 mm (n=10)로 난황이 60%이상 흡수되고 몸 뒤쪽의 막지느러미가 넓어졌으며 등쪽을 따라 흑색포는 크고 진해졌다(Figure 4L₃). 부화 후 3일째에는 전장 4.4±0.12 mm (n=10)로 난황이 90% 흡수되고 두부 뒤 중앙에 안경보다 작은 부레가 관찰되었고 가슴지느러미는 두장보다 커졌다. 입과 항문이 열리면서 처음으로 운충을 섭식하였다(Figure 4L₄).

Table 2. Egg diameter, gonadosomatic index and fecundity by total length of *Lefua costata* in the Jusucheon, Okgye-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do, Korea, April, 2018

No.	Total length (mm)	Gonado-somatic index (%)	Fecundity	Egg diameter (mm)
1	61.6	16.8	1,879	0.68±0.06
2	63.8	16.3	1,393	0.71±0.05
3	66.8	27.4	1,989	0.72±0.07
4	67.1	14.5	1,514	0.69±0.06
5	68.4	27.7	2,113	0.75±0.05
6	69.1	20.1	1,889	0.73±0.06
7	69.7	21.3	2,513	0.71±0.06
8	72.8	18.7	1,751	0.73±0.05
9	78.0	17.7	2,603	0.71±0.06
10	80.8	23.3	3,560	0.70±0.05
Average				0.71±0.02

2) 후기자어기(post-larva stage)

부화 후 4일째에는 전장 4.5±0.16 mm (n=10)로 난황이 모두 흡수되어 후기자어기로 이행하였고 부레는 안경보다 커졌으며 먹이를 왕성하게 섭식하였다(Figure 4L₅). 부화 후 5일째에는 전장 4.6±0.19 mm (n=10)로 꼬리지느러미에 원기가 관찰되었다(Figure 4L₆). 부화 후 7일째에는 전장 5.0±0.16 mm (n=10)로 알테미아 유생을 섭식하기 시작하였다(Figure 4L₇). 부화 후 10일째에는 전장 6.1±0.55 mm (n=10)로 척색말단이 휘어지고 꼬리지느러미 기조는 8~10개가 관찰되었으며 등지느러미와 꼬리지느러미 원기가 관찰되었다(Figure 4L₈). 부화 후 15일째에는 전장 8.0±0.45 mm (n=10)로 꼬리지느러미 기조 13~15개, 등지느러미 기조 4~6개가 관찰되었고 부레는 두 개로 나누어졌고(Figure 4L₉), 부화 후 17일째에는 전장 10.0±0.75 mm (n=10)로 뒷지느러미 기조가 6~7개로 정수가 되었다.

3) 치어기(juvenile stage)

부화 후 20일째에는 전장 11.5±0.67 mm (n=10)로 꼬리지느러미(기조수 22~25개)와 등지느러미(기조수 9개), 뒷지느러미(기조수 8개), 배지느러미(기조수 3~4개)의 기조는 모두 정수가 되어 치어기로 이행하였다. 수염이 1쌍 나타나고 등지느러미 앞쪽의 막지느러미는 50% 축소되었으며 눈과 입을 연결하는 검은줄이 나타나기 시작하였다(Figure 4L₁₀). 부화 후 30일 후에는 전장 16.0±1.29 mm (n=10)로 앞쪽의 부레는 안경크기로 커졌으며 막지느러미는 등지느러미와 뒷지느러미 앞쪽은 사라지고 뒤쪽도 많이 축소되었다(Figure 4L₁₁). 부화 후 50일째에는 전장 25.9±2.18 mm (n=10)로 수염은 4쌍이

관찰되었고 막지느러미는 모두 사라졌다. 눈과 입을 연결하는 검은줄은 진해졌고 미병부 중앙에 검은점이 생성되었으며 체측 중앙부터 등쪽은 검은점들이 침적되었다(Figure 4L₁₂). 부화 후 100일째에는 전장 47.1±2.60 mm (n=10)로 4쌍의 수염이 길어졌고 배쪽을 제외한 몸 전체에 검은점 무늬가 나타났으며 꼬리지느러미와 등지느러미 기저부에 검은점들이 나타나 비교적 성어의 모습과 유사하였다(Figure 4L₁₃).

고찰

쌀미꾸리 *L. costata*의 산란기 특징 및 초기발달과정은 쌀미꾸리속 내에서의 연구가 부족하여 쌀미꾸리가 속한 종개과 및 근연 분류군인 미꾸리과(Cobitidae) 어류들과 비교하였다.

쌀미꾸리의 성비(♂/♀)는 0.79로 암컷이 많은 것으로 조사되었다. 쌀미꾸리속 어류의 성비는 밝혀진 종이 없으며, 종개과에서는 종개가 0.73으로(Ko, 2017) 비교적 쌀미꾸리와 비슷하였으나 대륙종개는 0.98 (Byeon, 2010), 유럽의 *Barbatula barbatula*는 1.09 (Erös, 2001)로 암·수 차이가 없는 것으로 보고되어 본 종과 차이를 보였다. 근연 분류군인 미꾸리과에서는 부안종개 1.01 (Kim and Lee, 1984)와 기름종개 1.55 (Ko, 2009)를 제외한 대부분의 어류들은 수컷보다 암컷이 많은 것으로 보고되어 본종과 유사하였다 (Ko *et al.*, 2016).

쌀미꾸리의 산란기는 생식소성숙도 변화양상과 폭넓은 난경분포(0.24~0.93 mm), 전장 15 mm 이하의 당년생 치어가

Table 3. Comparisons of total length (TL) and body length (BL) of the genus *Lefua* species

Stages	Species		
	<i>L. costata</i> (TL)	<i>L. echigonia</i> (BL)	<i>L. torrentis</i> (BL)
Newly hatched larva (mm)	3.1±0.11 (3.0~3.1)	2.56~2.60	3.28~4.28
Post-larva (mm)	4.5±0.19 (4.2~4.7)	4.21~4.92	5.78~6.19
Juvenile (mm)	11.5±0.67 (10.0~12.1)	12.37~13.09	11.40~12.90
References	Present study	Aoyama and Doi, 2011	Aoyama and Doi, 2011

6~8월에 출현하는 집 등으로 볼 때 5월부터 8월까지로 추정되었고, 다회 산란을 하는 어류로 판단되었다. 전장 15 mm의 당년생 치어들은 초기발달과정 결과로 볼 때 부화 후 20~30일이 지난 개체로 추정되었다. 같은 속에 속하는 *L. echigonia*는 3월 하순부터 6월 상순까지, *L. nikkonis*는 5월 하순부터 7월까지로 산란기가 보고되어(Kawanabe *et al.*, 1989) 본 종과 같이 산란기가 길었고, 산란기는 비교적 *L. nikkonis*와 더 비슷하였다. 하지만 이들 종들의 다회산란 여부는 연구되지 않았다. 같은 과에 속하는 종개과 어류는 산란기가 종개 5월, 대륙종개는 6월로 보고되고 두 종 모두 난이 균일하고 한 시기에 산란하는 어류로 보고되어 본 종과 큰 차이를 보였다(Byeon, 2010; Ko, 2017). 또한 미꾸리과 어류들은 모두 한 시기에 산란하지만 분류군별로 차이를 보이는데, *Niwaella delicata* (Kano, 2000)와 수수미꾸리(*Kichulchoia multifasciata*)는 4~5월 (Chong, 1986), 미꾸리속(Genus *Misgurnus*) 어류와 얼룩새코미꾸리(*Koreocobitis naktongensis*)는 5~6월(Uchida, 1939; Kim *et al.*, 1987; Hong *et al.*, 2011), 참종개속(Genus *Iksokimia*) 어류, 기름종개속(Genus *Cobitis*) 어류, 좁수수치(*K. brevifasciata*)는 6~7월(Ko *et al.*, 2013; 2017a, b, Ko and Bang, 2019)로 보고되었다.

쌀미꾸리 성숙란의 난경은 0.71±0.02 mm로 Park *et al.*, (2020)의 1.12±0.06 mm과는 차이가 있었고, 같은 과에 속하는 종개 0.87±0.03 mm (Ko, 2017), 대륙종개 0.75±0.04 mm (Byeon, 2010) 및 미꾸리과 어류들(Ko, 2017) 보다 작았다. 포란수는 1,786±818개로 같은 과의 종개 4,460±330 (Ko, 2017)와 대륙종개 4,119±2,416 (Byeon, 2010)보다 적었으며, 미꾸리과의 참종개(*I. koreensis*) (Kim, 1978), 부안종개(*I. pumila*) (Kim and Lee, 1984), 점줄종개(*C. nalbanti*) (Ko and Park, 2011), 줄종개(*C. tetralineata*) (Kim *et al.*, 2006), 새코미꾸리(*K. rotundicaudata*) (Byeon, 2007), 좁수수치(Ko and Bang, 2014), 수수미꾸리(Chong, 1986) 보다는 많았으나 동방종개(*I. yongdokensis*) (Ko *et al.*, 2016)와 왕종개(*I. longicorpa*) (Kim and Ko, 2005), 남방종개(*I. hugowolfeldi*) (Choi, 2003), 북방종개(*I. pacifica*) (Ko and

Won, 2016), 기름종개(*C. hankugensis*) (Ko, 2009), 얼룩새코미꾸리(Hong *et al.*, 2011), 미꾸리(*M. anguillicaudatus*) (Uchida, 1937), 미꾸라지(*M. mizolepis*) (Kim *et al.*, 1992) 보다는 적었다.

쌀미꾸리속 어류의 초기발달과정은 *L. echigonia*와 *L. torrentis*의 초기 발생의 형태적 차이를 밝히기 위해 일부 조사되었다(Aoyama and Doi, 2011). 쌀미꾸리의 부화직후 자어의 크기는 전장 3.1±0.11 mm로 *L. echigonia* (2.56~2.60 mm) 보다 *L. torrentis* (3.28~4.28 mm)와 비교적 가까웠으나 후기자어 이행시기의 크기는 4.5±0.19 mm로 *L. torrentis* (5.78~6.19 mm)보다 *L. echigonia* (4.21~4.92 mm)와 가까웠다. 또한 치어기 이행시기의 크기는 *L. echigonia* (12.37~13.09)보다 *L. torrentis* (11.40~12.90 mm)와 유사하였다(Table 3).

본 연구에서 쌀미꾸리의 초기발달과정은 Park *et al.*, (2020)과 사육관리 수온은 23~26℃ 유사하였지만 발생과정은 본 연구에서 빠르게 진행되었는데 친어 채집 지점이 강릉과 양양으로 지리적 거리도 멀지 않아 이에 대한 추가적인 연구는 필요할 것으로 생각된다. 이 외에 미꾸리과 어류와 비교하면, 부화시간(50%)은 25℃에서 34시간으로 얼룩새코미꾸리 38시간(Song *et al.*, 2009)과 비교적 유사하였으나 미꾸라지(Kim *et al.*, 1987)와 미호종개(Song *et al.*, 2008)의 24시간보다는 길었고 그 외 대부분의 미꾸리과 어류들 보다는 짧았다(Ko *et al.*, 2017). 부화직후 자어의 크기는 2.7±0.11 mm로 미꾸리(Uchida, 1937)와 미꾸라지(Kim *et al.*, 1987)의 2.7 mm와 거의 동일하였으나 그 외 미꾸리과 어류들 보다는 작았다(Ko *et al.*, 2017). 후기자어기로의 이행시기는 4일로 미꾸리(Uchida, 1937)와 미꾸라지(Kim *et al.*, 1987) 미호종개(Song *et al.*, 2008)와 동일하였으나 그 외 미꾸리과 어류들 보다는 짧았으며(Ko *et al.*, 2017), 치어기로의 이행시기는 20일로 참종개(Ko *et al.*, 2012)와 부안종개(Ko *et al.*, 2013), 남방종개(Ko and Bang, 2016), 점줄종개(Ko and Bang, 2019), 좁수수치(Ko *et al.*, 2014) 보다는 길었으나 그 외 미꾸리과 어류들 보다는 짧은 편이었다(Ko *et al.*, 2017).

본 연구는 산란기 특징을 토대로 산란기를 추정하고 초기

발달과정을 비교하며 유연종과의 관계에 대해 논의하였다. 초기발달과정은 발생학적 분류에 대한 기초자료를 제공하고 있기에 산란특성에 대한 생태 연구와 함께 수행된다면 종의 분류학적 진화과정에 대한 유연종과의 관계에 대해 심도 깊은 논의가 가능할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Aoyama, S. and T. Doi(2011) Morphological comparison of early stages of two Japanese species of eight-barbel loaches: *Lefua echigonia* and *Lefua* sp. (Nemacheilidae). *Folia. Zool.* 60: 355-361.
- Balon, E.K.(1985) Early life histories of fishes: New developmental, ecological and evolutionary perspectives. dr. W. Junk Publisher, Dordrecht, 280pp.
- Byeon, H.K.(2007) Ecology of *Koreocobitis rotundicaudata* (Cobitidae) in the Naerin Stream, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 19: 299-305. (in Korean)
- Byeon, H.K.(2010) Ecological study of *Orthrias nudus* (Balitoridae) in the Eoron Stream of Korea. *Korean J. Ichthyol.* 22: 162-167. (in Korean)
- 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.
- Choi, E.K.(2003) Biology of the southern spined loach, *Iksookimia hugowolfeldi* (Pisces, Cobitidae). Master's thesis, Chonbuk National University, Jeonju, 42pp. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K., C.R. Jang and H.K. Byeon(2011) The characteristic of fish fauna by habitat type and population of *Zacco platypus* in the Tan Stream. *Korean J. Environ. Ecol.* 25: 71-80. (in Korean with English abstract)
- Choi, K.C.(1990) The nature of Gyeongbuk, freshwater fishes. Gyeongsangbuk-do Provincial Office of Education, Daegu, 408pp. (in Korean)
- Chong, D.S.(1986) Morphological and bionomical studies of *Niwaella multifasciata* (Wakiya et Mori). Master's thesis, Chonbuk National University, Jeonju, 37pp. (in Korean with English abstract)
- Erős, T.(2001) Life history of the stone loach, *Barbatula barbatula* in the Bükkös Stream (Hungary). *Folia Zool.* 50: 209-215.
- Fishbase(2020) *Lefua costata* was reported from 4 countries/islands. <http://www.fishbase.org>. Version (12/2020).
- Hong, Y.K., H. Yang and I.C. Bang(2011) Habitat, reproduction and feeding habit of endangered fish *Koreocobitis naktongensis* (Cobitidae) in the Jaho Stream, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 23: 234-241. (in Korean with English abstract)
- Hosoya, K.(2019) Japanese Freshwater Fish, Supplemented and Revised Compiled. Mountain and Gyeoksha Shrine, Tokyo, 560pp.
- Kano, Y.(2000) Age and growth of the Ajime-loach, *Niwaella delicata*, in the Yura river, Kyoto, Japan. *Ichthyol. Res.* 47: 183-186.
- Kawanabe, H., N. Mizuno and K. Hosoya(1989) Freshwater fishes of Japan. YAMA-KEI Publishers Co., Ltd., Tokyo, 720pp. (in Japanese)
- Kim, D.S., J.H. Kim and I.S. Park(1992) Induced and multiple spawnings by human chorionic gonadotropin injection of the loach, *Misgurnus mizolepis* (Teleostomi: Cobitidae). *Aquaculture* 5: 109-115. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S. and J.Y. Park(2007) Freshwater Fishes of Korea. Kyohak Publishing, Seoul, 465pp. (in Korean)
- Kim, I.S. and M.H. Ko(2005) Ecology of *Iksookimia longicorpa* (Cobitidae) in the Seomjin River, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 17: 112-122. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S. and W.O. Lee(1984) Morphological and ecological aspects on the population of *Cobitis koreensis* Kim (Pisces: Cobitidae) in the Begchon Stream, Puan-gun, Cholla-bugdo, Korea. *Korean J. Ecol.* 7: 10-20. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S.(1978) Ecological studies of cobitid fish, *Cobitis koreensis* in Jeonju-cheon Creek, Jeonrabug-do province, Korea. *Korean J. Ecol.* 2: 9-14. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S.(1997) Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea. Vol. 37 Freshwater Fishes. Ministry of Education, Youngi, 629pp. (in Korean)
- Kim, I.S., M.H. Ko and J.Y. Park(2006) Population ecology of Korean sand loach *Cobitis tetralineata* (Pisces; Cobitidae) in the Seomjin River, Korea. *J. Ecol. Field Biol.* 29: 277-286. (in Korean with English abstract)
- 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, Seoul, 615pp. (in Korean)
- Kim, S.Y.(2001) Molecular phylogeny of family Cobitidae (Pices, Cypriniformes) of Korea inferred from nucleotide sequence of mitochondrial cytochrome *b* gene. Doctoral dissertation, Chonbuk National University, Jeonju, 108pp.
- Kim, Y.U., D.S. Kim and Y.S. Park(1987) Development of eggs, larvae and juveniles of loach, *Misgurnus mizolepis* Günther. *Bull. Korean Fish. Soc.* 20: 16-23. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H. and I.C. Bang(2014) Spawning character and early life history of the endangered Korean dwarf loach, *Kichulchoia brevifasciata* (Teleostei: Cobitidae). *Korean J. Ichthyol.* 26: 89-98. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H. and I.C. Bang(2016) Egg development and early life history of the Korean southern spine loach, *Iksookimia hugowolfeldi* (Pisces: Cobitidae). *Korean J. Ichthyol.* 28: 156-163. (in Korean with English abstract)

- Ko, M.H. and I.C. Bang(2019) Egg development and early life history of the Korean endemic spine loach, *Cobitis nalbanti* (Pisces: Cobitidae). Korean J. Ichthyol. 31: 30-38. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H. and J.Y. Park(2011) Growth and spawning ecology of *Cobitis lutheri* (Teleostei: Cobitidae) in the Mangyeong River, Korea. Korean J. Ichthyol. 23: 158-162. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H. and Y.J. Won(2016) The age and spawning characteristics of the Korean endemic spine loach, *Iksookimia pacifica* (Pisces: Cobitidae) in the Bukcheon (stream), Korea. Korean J. Ichthyol. 28: 72-78. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H. Y.S. Jeon and Y.J. Won(2016) The habitat, age and spawning characteristics of the Korean eastern spined loach, *Iksookimia yongdokensis* (Pisces: Cobitidae) in the Chuksancheon (stream), Korea. Korean J. Ichthyol. 28: 72-78. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H.(2009) Reproductive mechanisms of the unisexual diploid-triploid hybrid complex between the spined loach *Cobitis hankugensis* and *Iksookimia longicorpa* (Teleostei, Cobitidae) in Korea. Doctoral dissertation, Chonbuk National University, Jeonju, 160pp. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H.(2017) Life History of the Siberian Stone Loach *Orthrias toni* (Pisces: Balitoridae) in the Buk Stream, Goseong, Korea. Korean J. Ichthyol. 29: 197-204. (in Korean with English abstract)
- 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. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., S.Y. Park and I.C. Bang(2012) Egg development and early life history of Korean spined loach, *Iksookimia koreensis* (Pisces: Cobitidae). Korean J. Limnol. 45: 93-101. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., S.Y. Park and I.C. Bang(2013) Egg development and early life history of the endangered Korean spine loach, *Iksookimia pumila* (Pisces: Cobitidae). Korean J. Ichthyol. 25: 65-73. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., Y.S. Jeon and Y.J. Won(2017) Early life history of the eastern Korean tetraploid spined loach, *Iksookimia yongdokensis* (Pisces: Cobitidae). Folia Zool. 66: 153-162.
- Lee, H.G. and J.K. Choi(2015) The characteristic of fish community following the restoration of Yangjae Stream. Korean J. Environ. Ecol. 29: 873-883. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.S.(2011) A taxonomic study on the eight barbel loach, *Lefua costata* (Pisces: Balitoridae), from Korea. Master's thesis, Chonbuk National University, Jeonju, 36pp. (in Korean with English abstract)
- ME(Ministry of Environment)(2006) Technology for Utilization and Control of Ecosystem. Kunsan University, Kunsan, 537pp. (in Korean)
- ME(Ministry of Environment)(2009) Development of Genetic Diversity Analysis, Culture and Ecosystem Restoration Techniques for Endangered Fish, *Iksookimia choii*. Soonchunhyang University, Asan, 537pp. (in Korean)
- MLTM(Ministry of Land & Transport and Maritime Affairs)(2010) Culture and Restoration of Endangered Species in the Major Four River Drainages. Soonchunhyang University, Asan, 489pp. (in Korean)
- Moyle, P.B. and J.J. Cech(2000) Fishes: An introduction to ichthyology (4th ed.). Davis: Prentice-Hall Inc., California, Davis, 612pp.
- Nelson, J.S.(2006) Fishes of the World. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 601pp.
- NIBR(National Institute of Biological Resources)(2011) Red data book of endangered fishes in Korea. Ministry of Environment, National Institute of Biological Resources, Incheon, 202pp. (in Korean)
- NIBR(National Institute of Biological Resources)(2019) Red data book of Republic of Korea, Volume 3. Freshwater fishes. Ministry of Environment, National Institute of Biological Resources, Incheon, 250pp. (in Korean)
- NIER(National Institute of Environmental Research)(2019) Survey and evaluation method for river and stream ecosystem health assessment. National Institute of Environmental Research, 131pp. (in Korean)
- Park, J.M., S.J. Cho and K.H. Han(2020) Early life history of *Lefua costata* (Cypriniformes: Balitoridae) from Korea. Dev. Reprod. 24: 307-316.
- Park, J.Y., S.H. Kim, M.H. Ko, M.K. Oh and J.C. Shin(2009) Change of ichthyofauna and fish community on natural stream restoration in Jeonju-cheon stream, Jeollabuk-do, Korea. Korean J. Environ. Ecol. 23: 281-291. (in Korean with English abstract)
- Song, H.Y., H. Yang, E.M. Cho, H.C. Shin and I.C. Bang(2009) Morphological development of egg and larvae of *Koreocobitis naktongensis* (Cobitidae). Korean J. Ichthyol. 21: 247-252. (in Korean with English abstract)
- 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. (in Korean with English abstract)
- Uchida, K.(1939) The fishes of Tyosen (Korea). Part I. Nematognathi, Eventognathi. Bull. Fish. Exp. St. Govern-Gen. Tyosen, 6: 1-458. (in Japanese)
- Yang, S.Y., H.Y. Lee, H.J. Yang and J.H. Kim(1991) Systematic study on the fishes of family Cobitidae (Pisces, Cypriniformes) I. Geographic variation of *Nemacheilus toni*, *Lefua costata*, and *Niwaella multifasciata*. Korean J. Zool. 34: 110-122.