

일본에 서식하는 큰납지리의 난발생과 초기생활사

김치홍* · 石鍋壽寬¹ · 김민경 · 김우진²

국립수산과학원 중앙내수면연구소, ¹일본 칸논자키 자연박물관, ²국립수산과학원 생명공학과

Development of Eggs and Early Life History of *Acheilognathus macropterus* (Acheilognathinae) from Japan by Chi Hong Kim*, Toshihiro Ishinabe¹, Min Kyoung Kim and Woo Jin Kim² (Central Inland Fisheries Research Institute, Cheongpyeong-ri Cheongpyeong-myeon Gapyeong-gun, Gyeonggi-do 477-816, Korea; ¹Nature Museum and Institute, Yokosuka-shi, Kanagawaken, Japan 239-0813; ²N.F.R.D.I, Gijang-gun, Busan, Korea)

ABSTRACT The egg development and early life history of *Acheilognathus macropterus* from Japan which is an exotic bitterling from China were observed under the controlled water temperature, $20.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$. Fertilized eggs are opaque yellow in color and long elliptic globe shaped measuring 2.78 ± 0.12 mm in length and 1.44 ± 0.04 mm in breadth. The number of egg averaged 151 per an oviposition. The eggs of this species began to hatch about seventy eight hours after insemination and the mean of total length of larvae were 3.8 mm. S form moving of larvae were observed from three days after hatching. The larvae reached at the heterotrophic stage about twenty-five days after hatching. Morphological character and analysis of cytochrome DNA of this species from Japan were relatively similar to Korean but spawned egg shape was different remarkably. Taxonomical research is necessary in the future.

Key words : Development of eggs, early life history, Japanese bitterling, *Acheilognathus macropterus*

서 론

잉어과 어류 중에서 납자루아과(Acheilognathinae) 어류는 담수산 이매패를 산란 숙주로 이용하는 특성을 가진 소형 담수어로서 중국 대륙을 중심으로 시베리아 남부, 한국, 일본, 대만과 북부 베트남 등에 40여 종이 분포하고 유럽에도 1종이 분포한다(Arai, 1988; Banarescu, 1990). 납자루아과 어류는 자연 상태에서 난내 발생과 전기자어 시기를 담수 조개 안에서 보냄으로써 초기 생활사를 천적의 위협으로부터 벗어나 높은 생존율을 유지하도록 진화하였지만 근래 들어 하천 수계의 인위적인 변형과 수질 오염과 같은 불리한 환경이 빠르게 증가함으로써 담수 이매패의 서식이 불안정화됨에 따라 오히려 산란 숙주에 의존하는 납자루아과 어류의 초기 생활사는 생존 전략에 불리하게 작용하고 있

기도 하다.

큰납지리 *Acheilognathus macropterus*는 중국의 남쪽 양자강 지류에서 북쪽의 만주 라오허, 헤이룽강, 러시아의 아무르 수역에 분포하며, 동아시아에 분포하는 납자루 종류 중에서는 크기가 가장 큰 담수어이다. 우리나라에서는 압록강에서 낙동강까지 서해와 남해로 흐르는 하천 및 그 부근의 수역에 고루 분포하고, 물 흐름이 적거나 정체된 강의 가장자리나 호수, 저수지 등의 수초가 많은 곳에 주로 서식한다(김, 1997; 김 등, 2005; 김, 2007).

일본에 서식하는 납자루아과 어류는 모두 17종 및 아종으로 분류되고 있으며 이 중 천연기념물을 포함하여 10종이 멸종위기 대상 종으로 지정되어 보호를 받고 있다. 하지만 최근 중국으로부터 수입된 담수패류를 통해 일본의 카주미가우라 호수에 유입되어 이바라키현에 정착한 큰납지리는 그 분포가 점차 확장되면서 기존의 납자루아과 어류의 서식을 위협하게 되었으며 토속 종의 밀도가 줄어들어 미국에서 도입된 큰입배스처럼 외래위해 담수어종으로 취

*교신저자: 김치홍 Tel: 82-31-589-5105, Fax: 82-31-589-5130,
E-mail: chkim@nfrdi.go.kr

급되고 있다(Hagiwara, 2008).

국내의 큰납지리에 대한 연구로는 자연산 자치어의 형태를 기재한 Uchida (1939)의 기록과,鈴木과 田(1989)의 인공수정에 의한 난발생과 자어의 발육 및 표피상돌기 연구, 김(2007) 등의 분류학적인 연구가 수행되어졌고 자연에 서식하는 개체군 생태에 대한 연구가 진행된 바가 있다(김과 김, 2012). 본 보고는 중국으로부터 일본에 유입된 큰납지리의 초기생활사에 나타난 난발생과 자치어 특성을 관찰하고 국내산 큰납지리와 더불어 다른 납자루아과 어류의 생활사를 비교하고 그 차이를 분석하여 분류학적인 기초자료를 마련하고자 한다.

재료 및 방법

실험에 사용한 큰납지리는 일본의 이바라키현에서 채집한 미성어 16마리를 2010년부터 중앙내수면연구소 실내수조에서 사육하던 중 2011년 4월 성숙한 어미 6마리(암컷 3마리, 수컷 3마리)를 대상으로 채란과 채정, 인공 수정을 하였다. 수정란을 대상으로 직경 9cm의 유리 샤페에서 수온 $20 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 를 유지하면서 난내 발생을 진행시켰으며 해부현미경 하에서 10~32배율에서 각 단계별로 발생 과정을 관찰하였고 디지털카메라로 촬영하였다. 부화한 자어는 사육하면서 성장에 따른 개체 변화의 특징을 기록하였다. 부화 경과 시간은 50%가 난막을 뚫고 나오는 시기를 평균으로 산정하였다. 인공 수정 방법과 초기 발생 과정의 관찰 및 수정란의 부화와 부출 시 자어의 관리는 김 등(2011)의 방법에 따랐다.

어미에 대해 외부 형태적인 특성을 기록하였으며 수정란의 크기와 모양을 분석하여 국내산 큰납지리와 비교하였다. 또한 미토콘드리아 cytochrome oxidase I(COI) 유전자의 668bp 부분을 증폭하여 한국산과 일본산 큰납지리에 대해 염기서열을 비교하여 두 집단 간 분류학적인 논의를 하였다.

결 과

1. 어미의 특징

실험에 사용한 어미는 암수 각각 3마리이며 수컷의 체장은 77.1~80.8mm, 암컷은 70.8~72.4mm였다. 다른 납자루류에 비해 체고는 높고 아가미 후단에 동공 크기의 검은 반점이 있으며 입수염은 매우 짧아 흔적적이다. 산란기의 수컷은 아가미의 아래와 배 부분으로 연한 분홍빛의 혼인색이 나타나고 가슴과 배지느러미는 담색을 띠며 등지느러미와 뒷지느러미의 검정색 띠는 짙게 변하고 몸 전체적으

로 은백색 광택이 화려하게 나타난다. 암컷의 산란관 길이는 꼬리지느러미의 끝을 넘어설 정도로 길며 산란 시 체장에 대한 산란관의 백분율은 84.0~89.9%이다.

2. 산란과 난 발생

암컷의 산란관을 통해 채란된 알은 담황색의 난황을 가진 불투명 분리침성란이다. 장타원형으로 난경은 장경이 2.68~2.86mm (평균 2.78 ± 0.12 mm, n=40), 단경이 1.42~1.49mm (평균 1.44 ± 0.04 mm, n=40)였다. 암컷의 개체 당 채란된 알의 수는 124~180개 (평균 151개)였다. 난내 발생은 Fig. 1과 같이 15단계(A~O)로 구분하였으며 부화 시까지의 각 단계별 경과 시간은 Table 1에 나타내었다.

수정 후부터 난막과 난황이 좁은 간격을 두고 분리되기 시작한다(Fig. 1A). 수정 후 1시간 후부터 배반이 형성되기 시작하여 2시간이 경과하면 동물극쪽에 난황의 1/8 정도 범위 크기로 배반 형성이 완료된다(Fig. 1B). 2시간 30분 후에 2세포기(Fig. 1C), 3시간 후에 4세포기(Fig. 1D), 3시간 30분 후에 8세포기(Fig. 1E), 4시간 후에 16세포기(Fig. 1F), 약 5시간 후에는 64세포기(Fig. 1G)가 되고 수정 후 8시간이 지나면 분열된 세포 수를 측정하기가 어려울 정도로 많아져 상실기에 이르고 이후 계속적인 분열로 할구의 크기는 더욱 작아진다(Fig. 1I). 수정 후 24시간이 지나면 동물극에 배반이 형성되어 식물극쪽으로 향하면서 배체가 난황의 가장자리를 덮기 시작하여 포배가 진행된다(Fig. 1J). 수정 후 32시간이 지나면 난황의 절반 이상을 덮고(Fig. 1K), 36시간이 경과한 후에는 원구가 폐쇄되기 직전에 도달하여 낭배가 발달된다(Fig. 1L). 수정 후 50시간이 경과하면 원구는 완전히 닫히고 유백색의 배체가 동물극에서부터 식물극 쪽으로 발달되어 신경배가 형성된다(Fig. 1M). 수정 후 55시간 이후로는 신경배가 더욱 발달하여 부화에 이르기까지 근질의 발달과 꼬리가 형성되어져 머리와 꼬리부분의 구별이 가능해진다(Fig. 1N). 수정 후 76시간이 지나면 일부 개체들은 부화를 시작하고 78시간 경과하면서 전체의 절반 정도가 부화를 마치고 80시간이 지나면 모두 부화하여 4시간 정도의 개체 차이가 있다. 부화 시는 머리 부분이 식물극 쪽을 향하며 난막을 서서히 터뜨리고 부화한다. 부화 직후 전장은 3.8mm이고 2시간 후부터 꼬리의 미동이 관찰된다(Fig. 1O).

3. 자어의 발달

부화 자어는 Fig. 2와 같이 경과 일수별 9단계(A~I)로 구분하여 형태 발달의 특징을 관찰하고 전장을 측정하였다. 부화 후 1일째는 전장 5.6mm로 꼬리의 퍼짐이 두드러지고 약간씩 꼬리의 움직임이 있다. 난황은 전체 길이의 70%를 차지하며 배체의 발달 정도는 아직 난황의 전단부

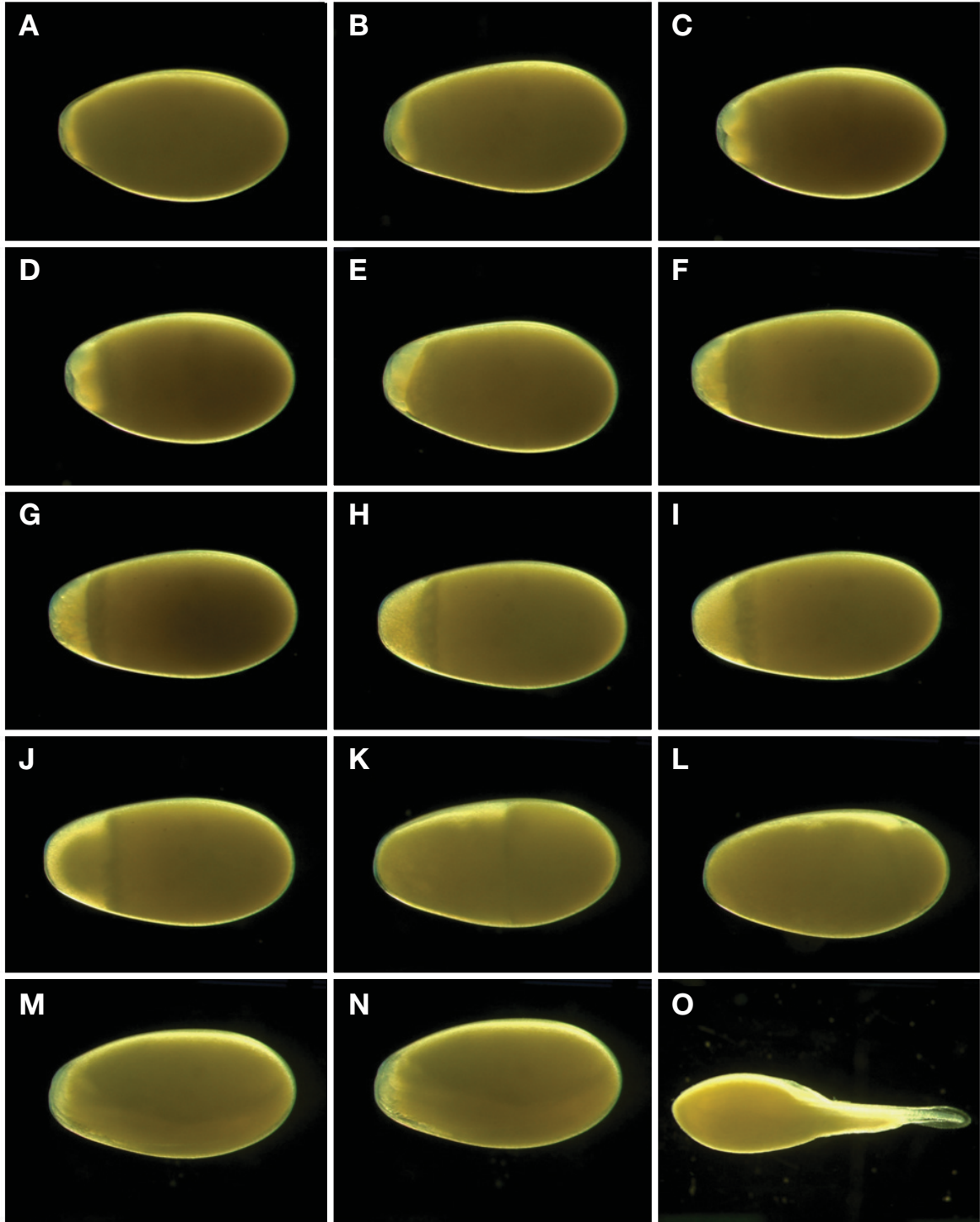


Fig. 1. Egg development of *Acheilognathus macropterus* from Japan. Time required for each developmental stage is shown in Table 1.

에 미치지 못한다 (Fig. 2A). 부화 후 2일째는 전장 5.8 mm로 근절이 18~21개 정도 관찰되고 배체가 난황의 전단부와 일치할 정도로 신장한다 (Fig. 2B). 부화 후 3일째가 되면 전장은 6.1 mm이며, 배체의 두부는 난황보다 앞쪽으로

발달하고 반투명한 안포의 원기가 확인된다. 꼬리의 신장이 두드러져 막지느러미도 넓게 발달하고 근절도 28~32개가 관찰된다. 난황의 중간 부분이 약간 굴곡이 생겨 꼬리와 몸체를 움직이면서 특이한 S자 모양의 빠른 움직임을 한다

(Fig. 2C). 부화 후 5일째가 되면 전장은 6.7 mm가 되고, 안포의 색이 갈색으로 짙어지며 그 뒤쪽으로 이포가 관찰되며 난황의 크기는 전체의 절반 이하로 줄어든다. 난황 앞쪽

으로 심장의 원기가 나타나며 난황의 위쪽과 배체를 따라 꼬리지느러미 앞부분까지 혈관이 발달하여 혈액의 순환이 관찰된다. 척추의 미단은 등쪽으로 약간 굽어지기 시작하고 꼬리지느러미의 기조가 발달하기 시작한다(Fig. 2D). 부화 후 10일이 되면 등지느러미와 가슴지느러미의 원기가 발달하고 활발한 심장의 박동을 확인할 수 있으며 난황은 심장과 아가미 뒤쪽에 위치하여 전장의 1/3 정도로 축소된다. 두부에 굴곡이 생기고 동공은 검게 착색되면서 렌즈가 형성된다. 이 때의 전장은 7.2 mm에 달한다(Fig. 2E). 부화 후 15일째는 전장이 8.2 mm이며 꼬리지느러미와 연결되었던 막은 사라지고 등지느러미의 기조가 8~10개, 뒷지느러미의 기조가 8~9개가 발달해 있으며 꼬리지느러미의 가운데가 안쪽으로 약간 굽기 시작한다. 난황은 전체의 1/5로 축소되고 그 두께도 체고의 1/2로 작아진다. 부레의 원기가 보이고 눈에는 은색 광택이 뚜렷하며 두부 상단과 척추 상단을 따라 작은 흑색 소포가 나타난다(Fig. 2F). 부화 후 18일째는 전장 8.4 mm이며 난황은 거의 흡수되어 흔적만 남아 있고 새공이 발달하여 아가미의 원기가 나타나며 눈 아래로 아래 턱의 굴곡이 생겨 윗 턱과 분리되어 입의 분화가 시작된다. 등지느러미의 기조가 12~14개, 뒷지느러미의

Table 1. Time required for embryonic stages of *Acheilognathus macropterus* from Japan

Stage*	Time after insemination (hr:min)	Remarks
A	0:00	Fertilized egg
B	2:00	Blastodisc
C	2:30	Two celled egg
D	3:00	Four celled egg
E	3:30	Eight celled egg
F	4:00	Sixteen celled egg
G	5:00	Sixty four celled egg
H	8:00	Morula
I	12:00	Morula postscript
J	24:00	Blastula
K	32:00	Middle blastula
L	36:00	Gastrula
M	50:00	Neurula
N	55:00	Embryonic stage
O	78:00	Hatching

*Stage from A to L correspond to those in Fig. 1.

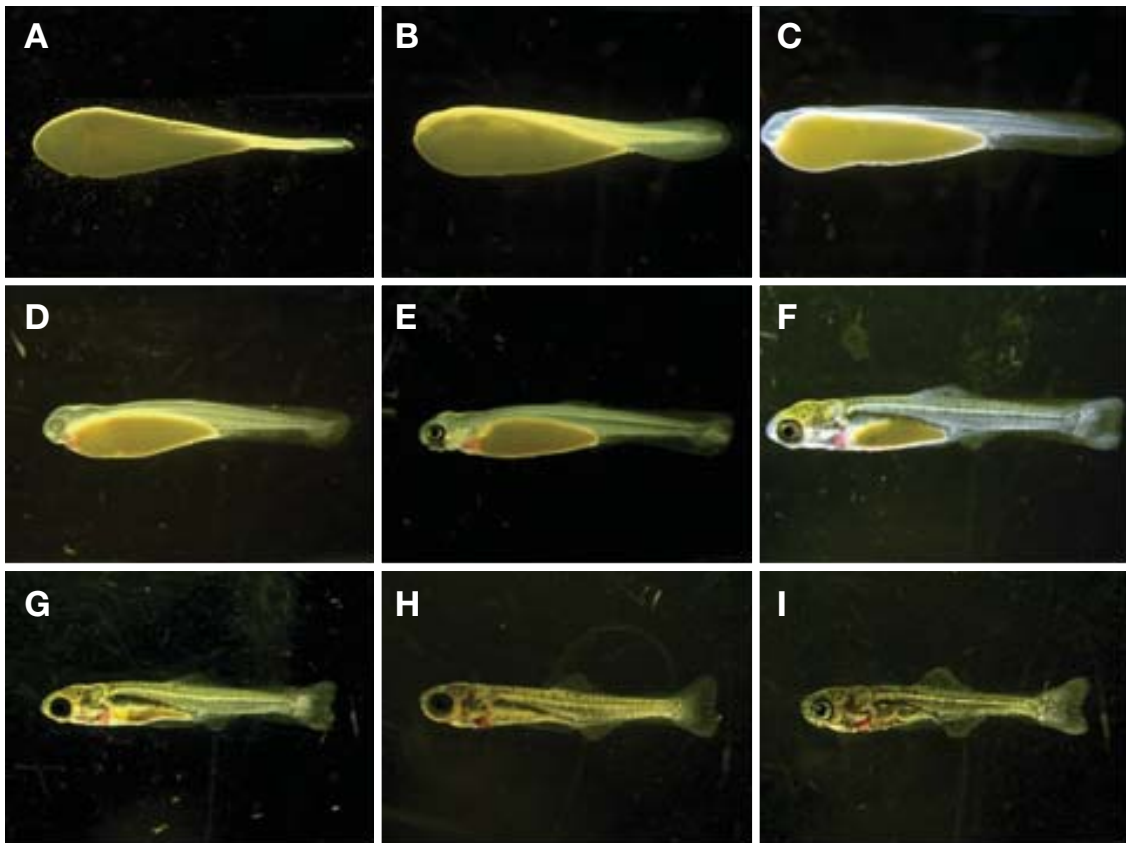


Fig. 2. Larvae development of *A. macropterus* from Japan. A; 1 day after hatching, 5.6 mm in total length (TL). B; 2 days after hatching, 5.8 mm in TL. C; 3 days after hatching, 6.1 mm in TL. D; 5 days after hatching, 6.7 mm in TL. E; 10 days after hatching, 7.2 mm in TL. F; 15 days after hatching, 8.2 mm in TL. G; 18 days after hatching, 8.4 mm in TL. H; 20 days after hatching, 8.5 mm in TL. I; 25 days after hatching, 9.0 mm in TL.

기조는 12개로 발달한다. 꼬리지느러미는 가운데 부분의 함몰이 좀 더 깊어진다(Fig. 2G).

부화 후 20일째는 전장 8.5 mm로 심장 부분을 제외하고 몸 전체의 투명감은 없어지게 되고 혈관도 외부에서 관찰하기가 어렵고 체측에는 흑색 소포가 산재한다. 일부 입이 열리기 시작하고 소화관과 항문이 열리기 시작한다. 심장 앞쪽으로 아가미 덮개가 관찰되어 안쪽으로 아가미의 분화

가 이루어졌음을 알 수 있다. 부레의 부피가 커졌으나 아직 앞뒤 두 개로 분리되지는 않았다(Fig. 2H). 부화 후 25일째는 전장 9.0 mm로 난황은 완전히 흡수되었고 입과 항문이 열려 타가영양이 가능하고 초기의 소화관이 형성된다. 수조의 상하로 자유 유영을 하며 등지느러미의 기조 수는 15~16개, 뒷지느러미의 기조수는 12~13개로 후기자어 시기에 이른다. 흑색 소포는 몸 전체에 산재하고 아가미 덮개의 운동이 관찰되며 부레가 현저히 신장하여 앞부분과 뒤의 부분이 뚜렷하다(Fig. 2I).

4. 치어의 성장

후기자어 시기 이후 실내 수조에서 초기 배합사료와 갖 부화한 알테미아를 급이하면서 사육한 결과 부화 후 30일에 9.3 mm, 40일에 11.7 mm, 50일에 15.0 mm, 60일에 21.2 mm로 성장하였고, 70일이 경과한 후에는 전장 25.8 mm로 치어의 형태를 갖추었다. 이후 80일에 27.1 mm, 100일에 30.9 mm, 150일에 32.4 mm, 200일이 경과한 후에는 37.4 mm로 성장하여 미성어로 구분할 수 있었다. 부화 후 50일부터 100일 사이에 성장 속도가 빨랐고 그 이후는 완만한 성장을 보였다. 이는 자연 수온으로 사육하였기에 4월부터 8월까지 수온의 상승과도 관련이 있을 것으로 추측된다(Fig. 3).

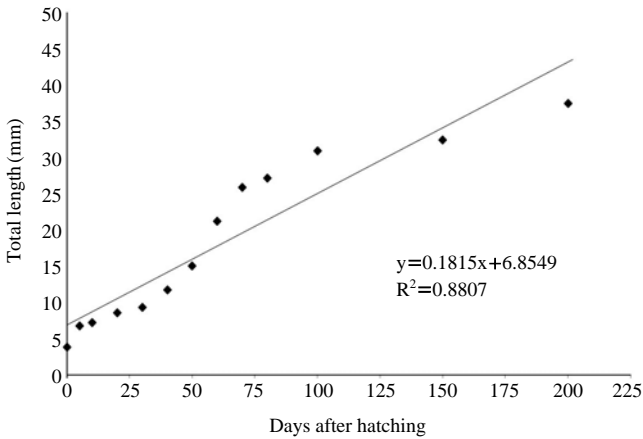


Fig. 3. Growth curve of *Acheilognathus macropterus* larvae after hatching.

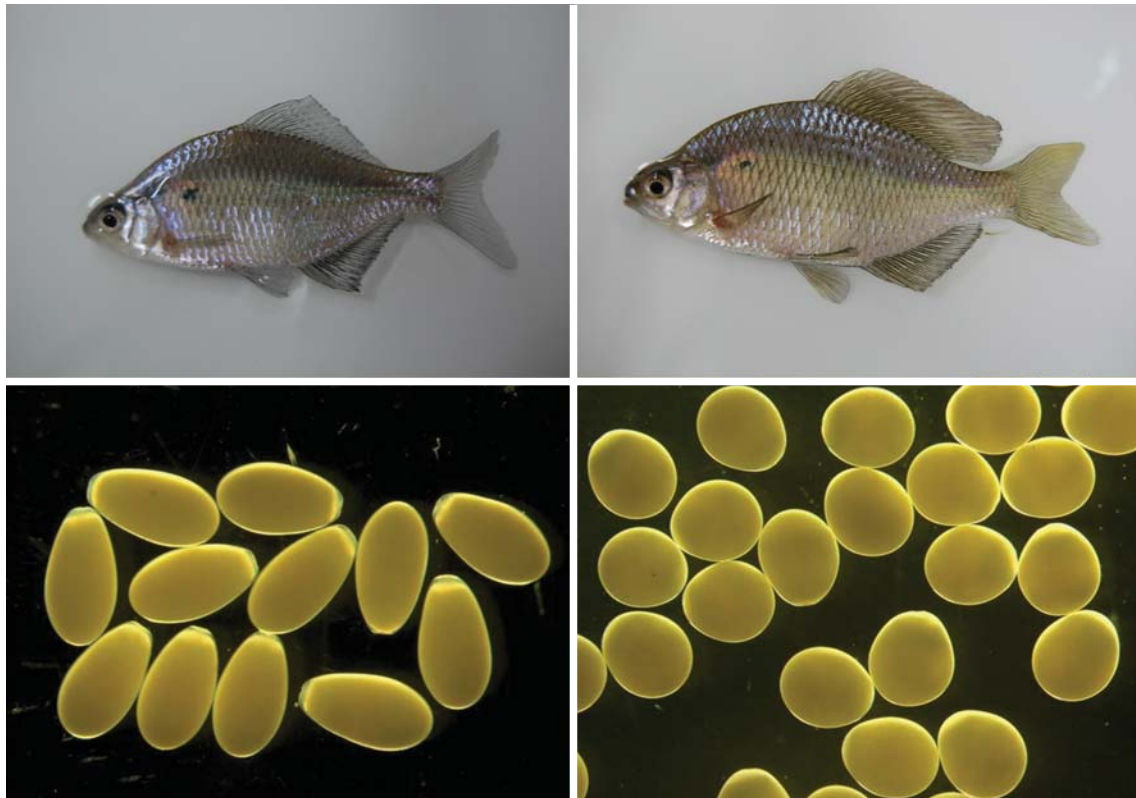


Fig. 4. Morphology of *Acheilognathus macropterus* male and egg type from Japan (left) and from Korea (Right).

Table 2. Comparison of egg size and external egg type of *Acheilognathus macropterus* by some authors

Localities	Egg size mean (mm)	Egg type	Authors
Korea	(1.6~1.8) × (1.2~1.5)	Oval globe	Uchida (1939)
Korea (Jeonnam)	1.95 × 1.61 (1.89~2.01) × (1.56~1.64)	Oval globe	Suzuki and Jeon (1989)
Korea (Gyeonggi)	1.90 × 1.50 (1.84~2.01) × (1.45~1.60)	Oval globe	Present study
Japan (Ibaraki)	2.78 × 1.44 (2.68~2.86) × (1.42~1.49)	Long elliptic globe	Present study

고찰

일본의 큰납지리는 다른 납자루류에 비해 크다는 뜻으로 “오오다나고”로 불리며 중국으로부터 수입된 담수패류에 의해 일본의 카주미가우라 호수에 유입된 이후 식성이 다양하고 왕성한 번식력과 빠른 성장 특성으로 일본에서는 외래위해 어종으로 취급 받고 있다 (Hagiwara, 2008). 다른 납자루류와 유사하게 일본의 큰납지리도 담수산 이매패 중에서 Unionidae에 산란하는 것으로 알려져 있다 (Liu *et al.*, 2006).

본 실험에서는 인공 채란한 개체 당 1회 산란량은 평균 151개로 한국산 큰납지리에 비해서는 다소 적었으나 칼납자루 *A. koreensis* 80개, 묵납자루 *A. signifer* 35개, 한강납줄개 *Rhodeus pseudosericeus* 47개인 다른 납자루류에 비해서는 산란량이 비교적 많았다 (Okada, 1961; 鈴木과 田, 1989; 김 등, 2011). 이는 납자루류 중에서 가장 크게 자라는 종류이고 번식력이 왕성하여 자연에 이식될 경우 그 서식 범위가 널리 확장될 수 있어 기존 소형 납자루류의 서식 생태에 영향을 미칠 가능성이 잠재하고 있음을 시사한다.

수정란의 발생 형태는 동물극에서 배반이 형성되어 난할이 진행되어 8시간 만에 상실기, 24시간 경과 후 포배기, 36시간 만에 낭배기를 거쳐 신경배가 형성된 뒤에 배체에 근절이 발달하는 과정은 납자루류에서 공통적으로 관찰되는 특징이었다. 다만 수온 20°C 내외에서 발생을 진행한 실험에서 부화에 이르는 시간을 비교한 결과 한국산 큰납지리에 대한 鈴木과 田 (1989)의 44시간에 비해 78시간으로 2배 정도의 차이가 있어 주목되었다. 한국산 납자루 속 어류인 묵납자루 53시간 (Suzuki and Jeon, 1988a), 칼납자루 49시간, 일본산의 *Tanakia tanago* 52시간 *A. limbata* 62시간과 비교해서도 차이가 많았고 부화 경과 시간이 70시간으로 보고된 같은 속의 *A. lanceolata*보다도 부화에 이르는 기간이 길다는 특징이 있다 (Suzuki and Hibia, 1985; Suzuki *et al.*, 1986; Suzuki and Jeon, 1988a, b; 김 등, 2011).

부화 후 3일째부터 S자 모양을 보이는 자어의 운동은 납지리 *A. rhombeus*와 가시납지리 *A. chankaensis*의 자어에서도 알려진 바가 있으며 산란 숙주인 조개 내에서 토출되지

Table 3. Comparison of some measurements and metrical counts for *Acheilognathus macropterus* between from Korea and Japan specimen

Localities	Korea	Japan
No. of individuals	8	6
Standard length (mm)	80.0~85.3 (82.1 ± 1.8)	79.0~83.3 (81.1 ± 1.7)
In standard length (%)		
Head length	24.0~27.8 (25.8 ± 1.6)	23.3~25.0 (24.2 ± 0.7)
Body depth	35.1~42.7 (38.9 ± 2.5)	33.6~38.2 (36.0 ± 2.0)
Predorsal length	46.2~50.2 (49.0 ± 1.4)	43.1~49.0 (46.0 ± 2.2)
Dorsal origin to caudal base	48.1~54.1 (50.7 ± 2.1)	51.3~55.2 (53.3 ± 1.7)
Preanal length	61.1~67.4 (62.8 ± 2.2)	52.7~61.5 (57.1 ± 2.9)
Preventral length	43.9~48.9 (46.5 ± 1.6)	39.0~44.1 (41.2 ± 1.8)
Prepectoral length	25.6~31.5 (28.2 ± 1.9)	24.0~27.9 (25.8 ± 1.4)
Caudal peduncle length	14.6~17.8 (16.3 ± 1.3)	15.6~20.5 (17.6 ± 1.6)
Caudal peduncle depth	11.0~12.7 (11.8 ± 0.7)	11.4~12.3 (12.0 ± 0.4)
Length of dorsal fin base	26.5~35.1 (30.8 ± 2.7)	31.1~35.9 (32.9 ± 1.8)
Length of anal fin base	18.1~24.2 (20.2 ± 2.2)	20.7~25.5 (23.9 ± 1.9)
In head length		
Snout length	20.4~30.9 (26.5 ± 4.2)	19.9~25.8 (23.4 ± 2.1)
Orbit diameter	28.1~33.3 (30.8 ± 2.0)	32.9~38.6 (35.0 ± 2.0)
Interorbital length	27.7~38.2 (32.9 ± 4.5)	29.7~36.7 (33.0 ± 2.7)
No. of dorsal fin rays	iii15~iii17	iii16~iii18
No. of anal fin rays	iii12~iii14	iii13
No. of ventral fin rays	i7	i7
No. of pectoral fin rays	i11~i13	i12~i13
No. of lateral line scales	36~37	35~37
No. of scales above L.L.	5~6	5~7
No. of scales below L.L.	4~5	5
No. of gill rakers	7~8	7~8

<i>A. koreensis</i>	GGTACCCCTCTATCTCGTATTGGTGCCCTGAGCCGGAATGGTTGGAACCGCTTTAAGCCTT	60
Korea <i>A. macropterus</i>	.....T.....T.....A.....G.....CC.....C	
Japan <i>A. macropterus</i>	.....T.....T.....A.....G.....CC.....C	
<i>A. koreensis</i>	CTTATCCGGGCTGAAGTCTGAGCCAACTGGCTCTCTCCTCGGGACGACCAAATTTACAAT	120
Korea <i>A. macropterus</i>	..C..T..T..C.....G.....C..T..A.....T.....T..	
Japan <i>A. macropterus</i>	..C..T..T..C.....G.....C..T..A.....T.....T..	
<i>A. koreensis</i>	GTTATTGTTACTGCCACGCTTTGTAATAATTTTCTTTATAGTTATAACCATCCTCATC	180
Korea <i>A. macropterus</i>	.....C..G..C.....T..C.....G.....G.....T	
Japan <i>A. macropterus</i>	..A..C..A..C.....T..C.....G.....T.....T	
<i>A. koreensis</i>	GGGGGATTTGGAAACTGGCTTGTCCCTAATGATTGGCGCACCCGACATGGCCTTCCCC	240
Korea <i>A. macropterus</i>	..A.....T.....A.....A.....A.....C.....A.....A.....A	
Japan <i>A. macropterus</i>	..A.....T.....A.....A.....A.....C.....T.....A.....A.....A	
<i>A. koreensis</i>	CGAATAAACAAATATAAGCTTCTGACTCTCCCTCCCTCTTCTCTCTACTCGCCTCC	300
Korea <i>A. macropterus</i>	.....T.....T.....T.....C.....A.....T.....	
Japan <i>A. macropterus</i>	.....T.....T.....C.....A.....T.....	
<i>A. koreensis</i>	TCCGGGGTTGAAGCTGGGGCCGGGACCGGCTGAACAGTTTATCCCTCTTGCAGGCAAT	360
Korea <i>A. macropterus</i>	..G..T.....G.....A..T..T.....G..A..C..A..C.....T..A..	
Japan <i>A. macropterus</i>	..A..T.....A.....A.....A..T..T.....G..A..C..A..C.....T..A..	
<i>A. koreensis</i>	CTAGCCACGCGGGGGCGTCCGTAGATCTAACAACTTTTCTACTCCATTTGGGGGAGTG	420
Korea <i>A. macropterus</i>	.....A..A..C..A.....C..C..C.....A..C..A.....G..CA	
Japan <i>A. macropterus</i>	T.....A.....C..A.....C..C..C.....A..C..A.....CA	
<i>A. koreensis</i>	TCCTCAATTCTGGGGCAATTAACCTTTATTACCACAACCATCAACATAAAACCCCGAGCC	480
Korea <i>A. macropterus</i>	.....CT..A..C..T.....T.....T.....T..T..T..G.....T..	
Japan <i>A. macropterus</i>	.....T..A..C..T.....T.....T.....T..T..T..G.....T..	
<i>A. koreensis</i>	ATTTCTCAATATCAAACACCCCTTATTGTGTGGGCGTACTGTGAACAGCTGTTCTTCTT	540
Korea <i>A. macropterus</i>	.....C.....C.....T..G..C.....A..T..G.....A..A.....C	
Japan <i>A. macropterus</i>	.....C.....C.....T..G..C.....A..T.....A..A.....C	
<i>A. koreensis</i>	CTCCTATCCCTGCCAGTCTGGCCGCTGGAATTACAATGCTTCTTACAGATCGTAACCTC	600
Korea <i>A. macropterus</i>	..G.....TT..A..T.....A.....C.....A..G..C.....TT..A	
Japan <i>A. macropterus</i>	..G.....TT..A..T..T..A.....C.....A..G..C.....TT..A	
<i>A. koreensis</i>	AACACCACATTCTTTGACCCGGCAGGGGGAGGGGACCCAATTCTCTACCAACACTTATTT	660
Korea <i>A. macropterus</i>	..T..T.....A.....A..T.....T..A.....G..TC.....	
Japan <i>A. macropterus</i>	..T..T.....T.....A.....A..T.....T..A.....G..TC.....	
<i>A. koreensis</i>	TGATTTTT	668
Korea <i>A. macropterus</i>	.....
Japan <i>A. macropterus</i>	.....

Fig. 5. Sequence alignment of a 668-bp fragment of mitochondrial COI gene for *Acheilognathus koreensis*, *A. macropterus* from Korea and *A. macropterus* from Japan. A dot indicates that the nucleotide is identical to that of *A. koreensis*.

않으려는 행동과 관련이 있다(鈴木과 田, 1990; Suzuki and Jeon, 1991). 부화 후 20일째의 자어는 입이 발달하고 곧은 소화관과 항문이 열리기 시작하여 외부 먹이를 섭취할 준비를 한다. 부화한 지 25일이 지나서 전장 9.0 mm로 난황은 완전히 흡수되어지고 입의 개폐가 확인되고 소화관의 내용물이 항문까지 연결되고 부레가 현저히 발달된 것으로 보아 이 시기부터 자연에서는 조개의 밖으로 나와 타가영양이 가능한 부출기가 시작된다고 판단된다. 대부분의 납자루류의 부출기가 부화 후 22~28일인 것과 유사하다(Suzuki and Hibia, 1985; Suzuki *et al.*, 1986; Suzuki and Jeon, 1987; Suzuki and Jeon, 1988a, b; Suzuki and Jeon, 1991; 김 등, 2011).

난의 형태는 장타원형으로 Table 2에 비교한 바와 같이 장경이 2.78 ± 0.03 mm (n=40), 단경이 1.44 ± 0.02 mm (n=40)로 Uchida (1939)와 鈴木과 田 (1989)의 장경 1.95 mm, 단경 1.61 mm와 큰 차이가 있을 뿐 아니라 직접 측정된 국내산 큰납지리의 알(장경 1.90 mm, 단경 1.50 mm)의 형태와 크기에서 차이를 나타내었다. Uchida (1939)와 Suzuki and Jeon (1989)은 한국산 큰납지리의 알 형태는 단타원형으로 기록하였고, 본 실험에서 한국산 큰납지리의 알 모양을 관찰한 결과도 단타원형으로 나타났지만 일본산의 경우는 장경이 단경의 2배 정도 긴 장타원형을 보여 알의 형태는 한국산과 뚜렷이 구별되었다(Fig. 4). 납자루아과 어류 중 난의 형태와 발생 과정의 차이, 인공 교잡에 의한 자손

의 생산 여부는 분류학적으로 종을 구분하는 주요 형질로 인식되어 별종일 가능성을 시사한다(김, 1991). 본 실험에서도 일본산과 한국산 큰납지리를 교잡한 결과 일부 수정은 가능하였으나 상실기 이후로 발생이 진행되지 않아 부화에 도달한 개체는 없었다. 중간 생식적인 이질화가 잠재한다고 사료된다.

일본산과 한국산 간의 외부 형태에 대한 14개의 계측치와 8개의 계수 형질을 비교한 결과 9개의 주요 계측 형질은 두 집단 간 중복되어 나타났으나 체장에 대한 뒷지느러미까지의 기점거리는 한국산이 62.8%, 일본산이 57.1%로 차이가 있었고, 배지느러미까지 기점의 비율도 한국산이 46.5%, 일본산이 41.2%로 비교가 되었다. 두장에 대한 눈의 크기에 대한 비율도 한국산이 30.8%, 일본산이 35.8%로 일본산이 좀 더 크게 나타나 차이가 있었다. 계측 형질에서는 지느러미 연조수나 측선린수 등 8개 형질에서 차이가 나지 않았다(Table 3). 계수 계측에 대한 형태 비교는 외부 형질에 대한 종의 특성을 나타내게 된다. 두 집단 간의 계측에 대한 차이는 지역 간의 차이로 나타나는 현상일 가능성도 있다고 사료되며 추후 외부 형태학적 종의 특성 규명에 대한 면밀한 조사가 필요하다.

한국산 큰납지리와 일본산 큰납지리의 근연 정도를 확인하기 위하여 비교 종으로 칼납자루를 선정하고 종 동정 바코드로 널리 이용하고 있는 미토콘드리아 cytochrome oxidase I (COI) 유전자의 668 bp 부분을 증폭하여 염기서열을 비교하였다. 중간 외부 형태와 초기 발생 과정이 뚜렷한 차이를 보이는 한국산 큰납지리와 칼납자루는 83.2%, 일본산 큰납지리와 칼납자루는 83.1%의 유사성을 보여 두 중간 차이가 뚜렷하였다. 하지만 한국산과 일본산 큰납지리 간의 염기서열은 668 bp 중에서 15 bp가 차이를 보여 97.8%의 유사성을 보였다(Fig. 5). COI 염기서열을 근거로 한국산 큰납지리와 일본산 큰납지리는 아종 간 차이이거나 집단 간 차이 정도인 것으로 추정되었다. 따라서 한국산 큰납지리와 일본산 큰납지리는 지리적인 격리에 의한 발생과 생식적인 차이가 나타난 현상으로 잠정 판단된다. 이러한 점들을 참고로 추후 면밀한 검토를 거쳐 분류학적인 종의 분화 정도를 밝혀야 할 필요가 있다.

요 약

중국으로부터 유입되어 일본의 이바라키현에서 정착한 큰납지리 *Acheilognathus macropterus*의 난발생과 자치어의 특성에 대해 관찰하였다. 담황색 수정란의 장타원형으로 난경은 장경이 2.68~2.86 mm (평균 2.78±0.12 mm, n=40), 단경이 1.42~1.49 mm (평균 1.44±0.04 mm, n=40)였다. 암컷의 개체 당 체란된 알의 수는 124~180개 (평균 151개)

였다.

수정란은 수온 20±1.0°C에서 수정 후 78시간 만에 부화하였다. 부화 직후 자어의 크기는 3.8 mm이고, 3일째부터는 S자 모양의 빠른 움직임을 보였다. 부화 후 25일 경에 소화기관이 완성되어 먹이를 먹기 시작하고 부출기에 이르렀다. 한국산 큰납지리와 외부형태나 미토콘드리아 cytochrome oxidase I (COI) 유전자의 차이는 크지 않았으나 수정란의 형태가 두 집단 간 뚜렷이 구별되어 분류학적인 논의가 필요하다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 경상연구과제 “담수생물 서식지 외 보존 연구”(RP-2012-AQ-038) 시험연구비에 의해 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- 김익수. 1997. 한국동식물도감. 제37권 동물편(담수어류). 교육부, pp. 188-189.
- 김익수 · 최 윤 · 이충렬 · 이용주 · 김병직 · 김지현. 2005. 원색 한국어어류도감. 교학사, 615pp.
- 김치홍. 1991. 한국산 납자루속 어류의 계통분류학적 연구. 전북대학교 대학원 박사학위논문, 132pp.
- 김치홍 · 이완옥 · 이종하 · 백재민. 2011. 고유종 칼납자루의 재생산 기초연구. 한국어류학회지, 23: 150-157.
- 김형수. 2007. 한국산 잉어과 어류 큰납지리와 가시납지리의 분류학적 연구. 전북대학교 대학원 석사학위논문, 44pp.
- 김형수 · 김익수. 2012. 불갑천에 서식하는 큰납지리 *Acheilognathus macropterus* (Pisces: Cyprinidae)의 개체군 생태. 한국어류학회지, 24: 27-34.
- 鈴木伸洋 · 田祥麟. 1989. 큰납지리의 卵發生과 仔魚의 發育 및 仔魚의 表皮上突起. 한국어류학회지, 1(2): 73-82.
- 鈴木伸洋 · 田祥麟. 1990. 가시납지리의 卵發生과 仔魚의 發育 및 仔魚의 表皮上突起. 한국어류학회지, 2(2): 169-181.
- Arai, R. 1988. Fish systematics and cladistics. In: Ueno, T. and M. Okiyama (eds.), Ichthyology Currents 1988. Tokyo, Asakura-shoten, pp. 4-33.
- Banarescu, P. 1990. Zoogeography of fresh waters, vol. 1: General distribution and dispersal of freshwater animals. Aula-Velag., Wiesbaden, pp. 71-94.
- Hagiwara, T. 2008. Proceeding of Taal 2007: The 12th World Lake Conference, pp. 1082-1087.
- Liu, H.Z., Y.R. Zhu, C. Smith and M. Rechard. 2006. Evidence of host specificity and congruence between phlogenies of bitterling and freshwater mussels. Zoological Studies, 45: 428-434.

- Okada, Y. 1961. Studies on the freshwater fishes of Japan. J. Fac., Fish. Pref. Univ. Mie. 4: 369-413.
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1987. Development of the bitterling, *Acheilognathus yamatsutae* (Cyprinidae), with notes on minute tubercles on the skin surface and paryngeal apparatus. Kor. J. Lim., 20(4): 229-241.
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1988a. Development of the bitterling, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae), with note on minute tubercles on the skin surface. Kor. J. Lim., 21(3): 165-179.
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1988b. Development of the bitterling, *Acheilognathus limbata* (Cyprinidae) from Korea and Japan, with notes on minute tubercles on the skin surface and on the genetic implication in hybrid embryos. Kor. J. Lim., 21(4): 211-229.
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1991. Development of the bitterling, *Acanthorhodeus rhombeus* (Cyprinidae), from Korea. J. Basic Sci., Sang Myung Women's University, 5: 53-62.
- Suzuki, N. and T. Hibia. 1985. Development of eggs and larvae of two bitterlings, *Acheilognathus lanceolata* and *A. limbata* (Cyprinidae). Bull. Coll. Agr. Vet. Med., Nihon Univ., 42: 195-202. (in Japanese)
- Suzuki, N., A. Oka., Y. Sugoh, K. Yamakawa and T. Hibia. 1986. Development of the bitterling *Tannakia tannago* (Cyprinidae), with a note on minute tubercles on the skin surface. Japan. J. Ichthyol., 33(1): 225-231.
- Uchida, K. 1939. The fishes of Tyosen (Korea). Part 1 Nematognathi and Eventognathi. Bull. Fish. Exp. St. of the Government-General of Tyosen (Husan), 6: 1-47. (in Japanese)