

고유종 큰줄납자루, *Acheilognathus majusculus*의 난 발생과 초기생활사

김치홍* · 최웅선¹ · 김대희 · 백재민

국립수산과학원 중앙내수면연구소, ¹전북대학교 대학원 생물학과

Egg Development and Early Life History of Korean Endemic Species, *Acheilognathus majusculus* (Acheilognathinae) by Chi Hong Kim*, Wung Sun Choi¹, Dae Hee Kim and Jae Min Beak (Central Inland Fisheries Research Institute, Cheongpyeong-ri Cheongpyeong-myeon Gapyeong-gun, Gyeonggi-do 477-816, Korea; ¹Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea)

ABSTRACT The egg development and early life history of *Acheilognathus majusculus* which is Korean endemic species from Yeong river were observed under the controlled water temperature, $18.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$. Fertilized eggs are opaque yellow in color and round oval shaped measuring 2.12 (2.08~2.18) mm in length and 1.86 (1.80~1.98) mm in breadth. The number of eggs averaged 72 (40~112) per an oviposition. The eggs of this species began to hatch about forty three hours after insemination and the total length of larvae was 4.23 mm mean. S form moving of larvae were not observed during larval development. The larvae reached at the heterotrophic stage about twenty-five days after hatching. It is estimated that the larvae was coming out from freshwater bivalve since that time in nature. *A. majusculus* was grew up to be adult stage enough which can be join to new production for three hundred days after hatching with over 67.8 mm in total length.

Key words : Development of eggs, early life history, Korean endemic bitterling, *Acheilognathus majusculus*

잉어과(Cyprinidae) 어류 중 납자루아과(Acheilognathinae)는 담수산 이매패를 산란 숙주로 이용하는 특이한 산란 습성을 가진 소형 담수어로 중국 대륙과, 한국, 일본, 대만과 북부 베트남 등에 40여 종이 분포하고 유럽에도 1종이 분포한다(Arai, 1988; Banarescu, 1990). 우리나라에는 멸종된 것으로 알려진 서호납줄갱이(*Rhodeus hondae*)를 포함하여 2속 14종이 알려져 있고 이 중 현존하는 8종이 한국 고유종으로 여타 분류군에 비해 고유화 빈도가 아주 높아 담수어 종분화 연구의 귀중한 자료이다(김 등, 2005). 납자루아과 어류는 유속이 완만하고 수초가 자라고 있는 하천이나 저수지의 가장자리에 주로 서식하는 이동성이 크지 않은 종들이다. 최근 하천 공사로 인한 유속과 수심 및 하상 구조의 변동과 같은 물리적인 서식 환경의 변화를 초래하여 산란

숙주로 이용하는 담수산 이매패의 생존이 불리하게 되어 생활사의 단절로 개체군의 축소 우려가 있다. 또한 정수성 어종이기에 육상 생태계로부터 유입되는 생물·화학적 환경오염에 노출이 쉬워 인위적인 보존이 시급한 분류군이다. 이들 중 한강납줄개(*Rhodeus pseudosericeus*), 묵납자루(*Acheilognathus signifer*), 임실납자루(*Acheilognathus somjinensis*) 3종은 멸종위기에 처한 야생동·식물로 지정되어 국가적으로 보존의 필요성이 강조되고 있다(환경부, 2013).

어류의 초기 생활사에 대한 연구는 종의 특징을 구명하는 것은 물론 유사종과의 분류학적인 문제의 해결과 종 간 유연관계를 연구하는 데 중요한 기초 자료가 된다. 이에 따라 우리나라에 서식하는 납자루아과 어류를 대상으로 난 발생 과정과 자어의 표피상돌기의 형태변화 및 초기생활사 연구가 활발히 진행되어 왔으며 형태적인 분류와 더불어 초기 발생과 생활사의 특성을 비교하여 계통 유연관계를 논의하였다(Suzuki and Hibia, 1984; 金과 朴, 1985; Suzuki

*Corresponding author: Chi Hong Kim Tel: 82-31-589-5105
Fax: 82-31-589-5130, E-mail: kimchihong@korea.kr

and Jeon, 1987, 1988a, b, c, 1991; 鈴木과 田, 1988d, 1989, 1990a, b; 김과 김, 1989; 宋과 權, 1994; 백과 송, 2005b).

큰줄납자루 *Acheilognathus majusculus*는 이전에 줄납자루로 알려졌으나 전북 임실 섬진강산 모식표본을 근거로 혼인색과 새파, 척추골수, 입수염의 길이와 주둥이 모양 등의 차이로 새로운 종으로 기재, 발표되었다(Kim and Yang, 1998). 현재 이들의 분포 지역은 섬진강 수계와 낙동강 일부 지역에 한정되어 있으며 유속이 약간 있는 수심이 1m 정도의 큰 돌이 깔려있는 곳을 선호한다(김 등, 2005). 그러나 계속되는 하천의 개발과 환경오염으로 인한 생존의 위협성이 가속되고 있고 서식지 감소와 개체군의 축소가 우려되는 실정임에도 불구하고 우리나라 납자루아과 어류 중에서 본 종의 산란과 발생, 성장 등에 관한 생활사 특성에 관한 연구 자료는 아직 미진한 실정이다.

본 연구는 한국 고유종인 큰줄납자루의 난 발생과정과 초기생활사를 관찰하여 납자루아과 내의 근연종과 그 특징을 비교 고찰함으로써 종의 특성을 밝히고 생물학적인 논의를 하고자하며 본 종의 보존과 개체군 확산을 위한 재생산 기술의 기초 자료를 마련하고자 한다.

재료 및 방법

실험에 사용된 어미는 2012년 5월에 경상북도 문경시 영강에서 담수용 소형 정치망과 시판되는 원통형 유인어망(직경 25 cm × 길이 45 cm)을 이용하여 채집하였다. 채집 직후 산소 포장하여 실험실로 운반하였고 여과기가 설치된 60 × 45 × 45 cm 수조에 수용하여 냉동 blood worm과 시판용 관상어 사료(tetra bits)를 1일 2회 급이하면서 실내 환경 조건 하에서 실험 종료 시까지 사육하였다. 인공수정을 위한 어미의 선별은 암컷의 경우 산란관이 꼬리지느러미 기부까지 신장한 개체를 선별하고 1차로 복부를 가볍게 압박하여 산란 가능성을 확인한 후 산란관을 통해 난이 배출되는 개체들을 이용하여 채란하였다. 수컷은 혼인색이 뚜렷한 개체를 선별하여 복부 압박 시 유색의 정액의 배출되는 것을 확인하고 채정하였다. 인공수정은 Suzuki and Hibia(1984)의 방법을 기초로 직경 20 cm 정도의 스테인리스 용기에 깊이 3 cm 정도 생수를 담아 수중에서 채란과 채정을 하여 수정되도록 유도하였으며 가볍게 용기를 흔들어 교반하였고 5분 정도 경과 후 3회 정도 세란 후 관찰용 패트리디쉬에 옮겨주었다. 인공수정에 사용한 친어의 체장과 암컷의 산란관의 길이를 측정하였고 개체별 채란 수도 계수하였다.

수정란의 난내 발생과 부화자어의 발달 과정은 실험현미경 하에서 관찰하였으며 컴퓨터 영상기를 이용해 단계별로 사진 촬영을 하였다. 경시적인 난내발생 단계의 구분과 부화기간의 산정은 동일 조건 하에서 3회 관찰한 결과의 평

균값을 취하였다. 부화자어는 처음 12일간 직경 9.0 cm의 유리 샬레에서 사육하였고 자어의 성장에 따라 사각 수조로 옮겨 키웠다. 사육수는 난 발생 시기와 부화 후 전기자어 시기 때는 매일, 이후에는 3일 간격으로 부화 시까지 전량을 환수하였고 부화 후 30일 이후는 소형 여과기를 설치하고 약하게 폭기를 해 주었다. 초기 먹이는 치어용 탈각 알테미아와 분말 사료를 공급하였다. 자치어의 관찰은 각 단계별로 마취 또는 고정하여 현미경 하에서 전장을 측정하였고 특징을 관찰 기록하였다. 실험 중 난 발생 과정의 사육 수온은 $18.0 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지해 주었고 자어는 실내 수온($18.5 \sim 24.0^\circ\text{C}$)에서 사육하였다.

결 과

1. 어미의 특징

큰줄납자루를 채집하여 실험실로 운반한 개체는 암컷이 14마리(체장, 44.2~72.1 mm), 수컷은 18마리(체장, 56.1~87.8 mm)였으나 당일 암컷은 9마리, 수컷은 11마리만 생존하였다. 대체적으로 수컷이 암컷에 비해 약간 컸으며 수컷의 혼인색 특징으로 산란 시기 자연 상태에서는 아가미 후단에서 배지느러미 부근까지 연홍색을 나타내고 몸 전체는 연한 녹색을 띠며 측선을 따라 암녹색의 체측 반문이 꼬리지느러미 기부까지 이어진다. 주둥이 주변에 추성이 발달되고 등지느러미와 꼬리지느러미의 가장자리와 뒷지느러미 가장자리 일부에서 연분홍 색조를 띠고 있으나 수조에 사육하는 중에는 혼인색이 현저히 약해졌다. 암컷은 배 쪽으로 갈수록 밝은 은백색을 보이고 중앙부에 연록색의 띠가 있으며 뚜렷한 혼인색은 나타나지 않았지만 암회색의 산란관이 꼬리지느러미 기부까지 길어진다. 인공 채란 후 암컷의 산란관은 2~3일 내에 축소되었고 시험 기간 동안 사육 수조 내에서 재 산란의 징후는 없었다(Fig. 1).

2. 난의 형태와 산란

복부 압박 시 산란관을 통해 배출된 성숙란의 모양은 원형에 가까우며 수정 후 현미경 시야에서는 측면보다 수정구 쪽이 약간 긴 둥근 타원형이다. 난의 장경 한쪽에는 갈매기 모양의 난문이 있으며 난문의 주변에 작은 언덕 모양의 굴곡이 있는 정자의 통로가 있다. 난막은 얇고 투명하며 난황은 불투명한 담황색으로 점착성이 없는 분리침성란이다. 난의 크기는 평균 장경이 2.12 mm(2.08~2.18 mm), 단경이 1.86 mm(1.80~1.98 mm, n=30)이다. 살아있는 암컷 9마리 중 채란이 가능하였던 개체는 6마리로 체장은 44.2~62.8 mm, 개체 당 채란 수는 40~112개(평균 72개)였고 산란관은 미병부의 말단과 꼬리지느러미 기부에 도달할 정도



Fig. 1. Morphology of *Acheilognathus majusculus* male and female from Young river, Korea.

Table 1. Number of spawned eggs and ovipositor length of *Acheilognathus majusculus* female in this study

Body length of female	Number of spawned eggs	Ovipositor length	Percentage of ovipositor length/body length
62.8 mm	107	32.2 mm	51.2%
61.7 mm	66	33.0 mm	53.5%
55.0 mm	112	29.4 mm	53.4%
54.8 mm	84	27.8 mm	50.7%
50.7 mm	26	26.7 mm	52.7%
44.2 mm	40	22.4 mm	50.6%

로 신장되었으며 체장에 대한 산란관 길이의 비는 평균 52.0% (50.6~53.4%)이다 (Table 1).

3. 난 발생 과정

난 발생 과정은 Fig. 1과 같이 11단계 (A~K)로 구분하여 관찰하였고, 부화할 때까지 소요되는 각 단계별 경과 시간은 Table 2에 나타내었다. 수정 직후의 수정란은 수분을 흡수하기 시작하지만 난막과 난황이 거의 분리되지 않으며 수정 후 약 40분이 지나면 난문부와 난황이 미세하나마 분리되고 난황과 난막 사이의 좁은 틈이 존재한다. 난문 쪽 동

Table 2. Time required for embryonic stages of *Acheilognathus majusculus* at 18.0±1°C

Stage	Time after insemination hr:min	Remarks
A	0:40	Blastodisc after fertilized
B	1:00	Two celled egg
C	1:20	Four celled egg
D	2:00	Sixteen celled egg
E	3:00	Over sixty four celled egg
F	5:00	Morula
G	10:30	Blastula
H	24:00	Gastrula
I	32:00	Neurula
J	40:00	Embryonic stage
K	43:00	Hatching begins

*Stage from A to K correspond to those in Fig. 2.

물극의 난황 상부에 원형질이 분리되어 난황의 1/5 정도 부분을 차지하는 배반이 형성된다 (Fig. 1A). 수정 후 1시간이 지나면 배반의 중앙부 윗부분이 갈라지면서 아래쪽으로 뺏어나가 수직으로 이등분되어 2개의 할구가 만들어 진다 (Fig. 2B). 약 20분 후에는 수평 난황이 일어나 각각의 할구가 이분되어 같은 크기의 4개의 세포로 나누어진다 (Fig. 2C). 이와 같은 세포 분열 방식으로 2시간 후에는 16세포

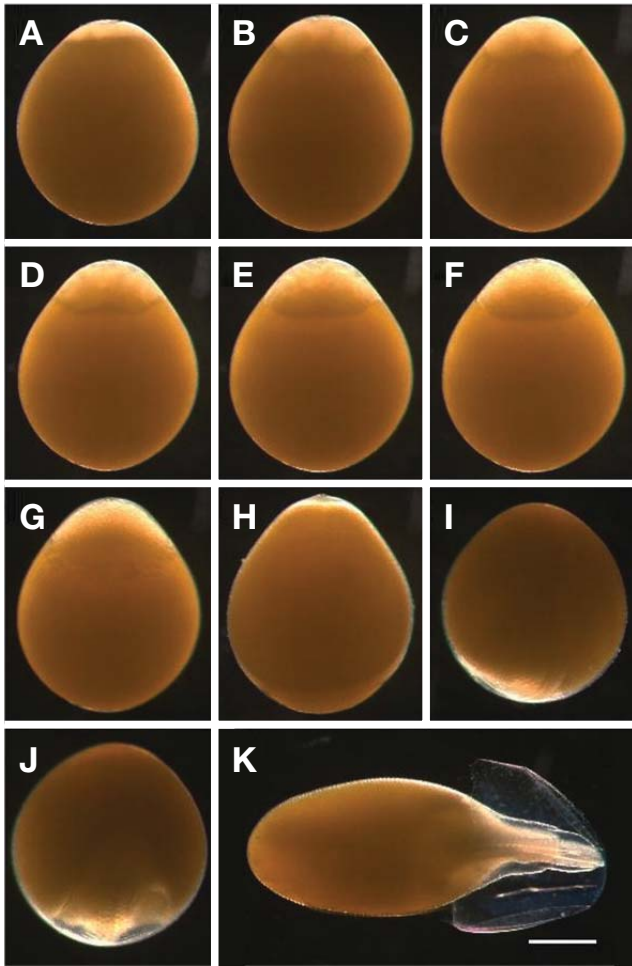


Fig. 2. Egg development of *Acheilognathus majusculus* from Young river, Korea. The bar indicates 1.0 mm. Time required for each development stage is shown in Table 2.

기(Fig. 2D), 3시간 후에는 64개 이상의 세포가 분열된다(Fig. 2E). 수정 후 5시간이 지나면 세포 수를 계수하기가 어려울 정도로 세포의 분할이 이루어지고 할구는 점점 작아지면서 상실기에 이른다(Fig. 2F). 시간이 경과함에 따라 난황이 계속되면서 수정 후 10시간 30분이 지나게 되면 할구는 더욱 작아져 할구 표면이 거의 곡선에 가깝게 관찰되는 포배기에 이르며(Fig. 2G), 수정 후 24시간 후에는 배반의 가장자리는 비후해지고 배환을 형성하면서 위쪽에서 부터 난황을 덮어 내려와 낭배를 형성하게 되고 발생이 진행됨에 따라 원구가 폐쇄된다(Fig. 2H). 수정 후 32시간이 되면 배환은 식물극 쪽을 완전히 덮고 내려온 후 함입되면서 난황의 바깥쪽의 중앙 부분에 유백색의 배체가 나타나기 시작하여 신경극과 척추의 원기를 형성하게 된다(Fig. 2I). 이후 배체의 후단부에 희미한 근질이 분화되고 그 수가 늘어나면서 수정 후 40시간이 경과한 후에는 꼬리 부분의 기저막이 분리되고 머리 쪽으로 척추의 원기가 신장된다(Fig. 2J).

수정 후 43시간 후부터는 배체의 머리 부분이 난문부의 반대쪽을 뚫고 아주 서서히 비집고 나오면서 부화를 시작한다. 배체의 움직임은 없고 미끄러지듯이 난막을 빠져나오며 완전히 부화하기까지는 약 4시간 정도 소요된다. 이 시기에 이미 난황의 표피상 돌기가 발달되어 현미경 하에서 관찰이 가능하다(Fig. 2K).

4. 자치어의 발달

외부 형태 변화로 본 자치어 발달 과정의 관찰 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 부화 직후 자어의 평균 전장은 4.23 (4.19~4.28) mm이며 근절 수는 25~28개이고 난황의 중앙부를 따라 앞쪽으로 신장한 배체의 앞부분은 아직 난황의 전반부에 미치지 못한다. 두부의 형태는 뚜렷하지 않고 꼬리의 척추가 그대로 이어진 상태로 아직 기관의 발달은 나타나지 않는다. 부화 후 2시간 정도가 지나면 꼬리 부분만 약간의 미동이 시작된다(Fig. 3A). 부화 후 4일째 자어의 전장은 6.14 mm가 되고 미병부와 꼬리 쪽의 발달이 빠르게 진행된다. 배체는 머리가 만들어지는 앞쪽까지 신장되고, 머리 부분에서는 안포와 혈색소가 관찰된다. 난황은 전기 자어의 절반 정도인 3.32 mm가 되어 긴 타원 형태로 변형된다. 꼬리부분이 뒤쪽으로 현저히 발달하여 지느러미 막이 형성되고 좌우로 흔드는 행동이 관찰된다(Fig. 3B). 부화 후 8일째는 전장 7.09 mm에 도달하고 두부는 난황보다 훨씬 앞쪽으로 발달되고 굴곡이 생기며 안구에는 구아닌 색소가 출현하여 은백색 빛을 반사한다. 난황의 전반 하단에는 심방과 심실이 분화되어 심장 박동이 관찰되고 척추와 난황의 표면을 통해 꼬리 전반부에 이르는 연홍색의 혈액 순환이 진행된다. 척추의 말단은 위쪽으로 약간 굽어진다. 꼬리지느러미의 주축이 형성되고 10~12개의 기조가 관찰되고 난황은 축소되어 방추형으로 점차 변형된다(Fig. 3C). 부화 후 13일째 자어는 전장이 7.97 mm이고 안구에는 렌즈가 완성되고 검은색 소포가 분화해서 불투명한 담흑색을 보인다. 주둥이가 위턱과 아래턱으로 나누어지기 시작하고 등지느러미의 가슴지느러미 원기가 나타나며 분화된 부레도 관찰이 된다. 이 시기부터 깊이가 5 cm 정도의 사각 수조에서 가끔씩 상하 운동을 하기도 한다. 머리의 뒷부분과 난황의 상부와 배체의 경계면을 따라 작은 흑색 소포가 출현하고 난황은 부피가 줄어 축소되어 긴 방추 형태를 보인다. 난황낭을 지나는 3~4개의 굵은 혈관이 보이고 꼬리 쪽의 지느러미 막에 모세혈관이 다양하게 발달하여 혈액 순환이 빨라진다(Fig. 3D). 부화 후 20일째 전장은 10.12 mm이고 위턱과 아래턱의 구분이 뚜렷하다. 머리 아래쪽으로 세공이 발달하고 꼬리지느러미의 끝은 안쪽으로 함몰되기 시작하고 이를 지지하는 부채꼴 모양의 기조의 분화가 현저히 나타난다. 등지느러미와 뒷지느러미에 7~8개의 기조

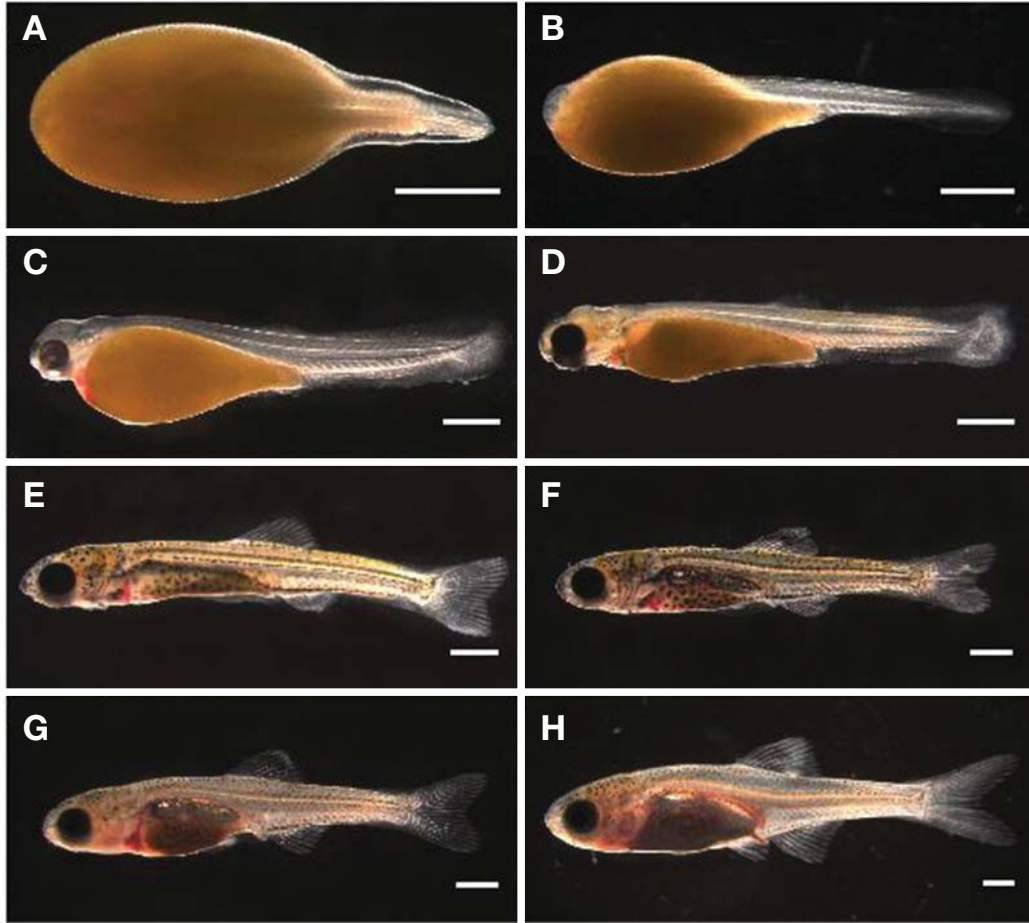


Fig. 3. Larvae development of *Acheilognathus majusculus* from Young river, Korea. A; 1 day after hatching, 4.23 mm in total length (TL). B; 4 days after hatching, 6.14 mm in TL. C; 8 days after hatching, 7.09 mm in TL. D; 13 days after hatching, 7.97 mm in TL. E; 20 days after hatching, 10.12 mm in TL. F; 25 days after hatching, 10.46 mm in TL. G; 30 days after hatching, 11.12 mm in TL. H; 50 days after hatching, 15.03 mm in TL. The bars indicate 1.0 mm.

가 관찰된다. 배지느러미의 분화될 부분이 용기되어 수 개의 미세한 기조가 관찰된다. 흑색 소포체의 출현 영역은 머리와 심장의 뒤쪽, 난황의 상하부, 체측의 정중앙, 상부와 하부에 굵게 줄을 지어 나타난다. 꼬리지느러미의 추진력으로 수조 위로 부상하고 바닥에 다시 머무는 운동을 하는 횡수가 잦아진다(Fig. 3E). 부화 후 25일째는 전장이 10.46mm이다. 머리의 발달이 현저하여 위턱과 아래턱이 균형을 이루고 가끔은 입의 개폐가 확인되고 난황의 뒤쪽으로 분화한 항문의 통로가 관찰된다. 반점은 머리 부분과 난황의 윗부분까지 확장된다. 부레는 큰 두 개의 방으로 나뉘어져 검은 회색을 띠며 가슴지느러미를 비롯하여 부속지의 분화가 완성되어 자유스런 운동이 관찰된다. 난황의 일부는 아직 복강 내에 남아있으나 이 시기에는 수조 위로 부상하고 잠시 바닥에 머무는 운동의 횡수가 잦아진다. 흑색 소포의 수는 증가하고 모양은 커지면서 아가미 뚜껑을 포함하여 몸 전체에 산재하고 각 지느러미의 기조에도 소형 소포가 분

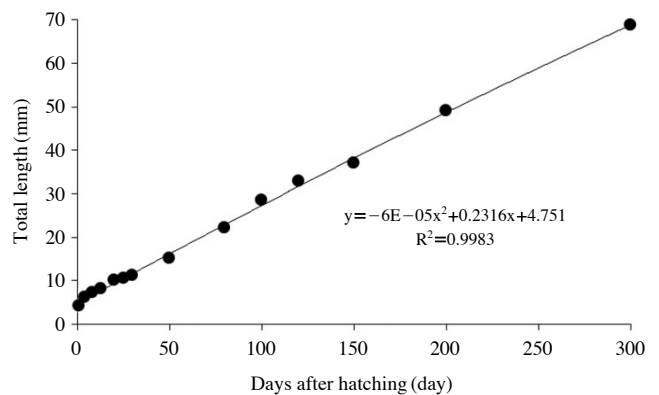


Fig. 4. Growth curve pattern of *Acheilognathus majusculus* larvae after hatching.

포한다. 이 시기부터 소량의 미세 분말 배합사료에 대한 먹이 반응을 보이기 시작한다(Fig. 3F). 부화 후 30일째는 전

Table 3. Comparison of Egg type and size in Acheilognathinae fishes by each investigator

Species	Egg type	Egg size, mean (mm)	Authors
<i>Rhodeus ocellatus</i>	Bulb like	2.68 × 1.30	Suzuki and Jeon (1988d)
<i>R. uyekii</i>	Bulb like	3.1 × 1.7	Suzuki <i>et al.</i> (1985)
<i>R. notatus (suigensis)</i>	Bulb like	3.56 × 1.39	Suzuki and Jeon (1988c)
<i>R. pseudosericeus</i>	Bulb like	3.0 × 1.8	Kim <i>et al.</i> (2006)
<i>Acheilognathus signifer</i>	Pear shape	2.26 × 1.74	Suzuki and Jeon (1988a)
<i>A. somjinensis</i>	Pear shape	3.7 × 2.3	Kim (1991)
<i>A. limbata</i> (Japan)	Pear shape	2.85 × 1.55	Suzuki and Jeon (1988b)
<i>A. koreensis</i>	Fusifiform	4.35 × 1.76	Kim <i>et al.</i> (2011)
<i>A. lanceolatus</i>	Fusifiform	4.58 × 1.49	Suzuki and Jeon (1990a)
<i>A. rhombeus</i>	Round oval	2.58 × 1.77	Suzuki and Jeon (1991)
<i>A. yamatsutae</i>	Round oval	1.91 × 1.57	Suzuki and Jeon (1987)
<i>A. chancaensis</i>	Round oval	2.09 × 1.26	Suzuki and Jeon (1990b)
<i>A. macropterus</i>	Round oval	1.95 × 1.61	Suzuki and Jeon (1989)
<i>A. majusculus</i>	Round oval	2.12 × 1.86	Present study

장이 11.12 mm이다. 등지느러미와 뒷지느러미의 기초수가 완성되고 부레가 완성되어 균형을 잡고 자유롭게 유영을 하고 바닥에 머물지 않는다. 난황은 거의 축소하여 흔적만 남아있고 아가미의 개폐가 활발하다. 상하악의 운동이 자유롭고 소화관 내에 먹이가 남아있는 것이 확인된다. 난황의 뒤로 미세한 항문관도 열려있는 걸로 보아 타가영양이 충분히 가능한 시기이다(Fig. 3G). 부화 후 50일째는 전장이 15.03 mm이다. 체장의 신장과 함께 체고가 높아지며 유선형 체형으로 변화된다. 배지느러미를 비롯한 모든 지느러미의 분화와 기능이 완벽해져 치어기에 이르며 때를 지어 수조 내에서 상하를 자유롭게 유영하며 먹이활동이 활발해진다. 반면 몸에 비해 흑색 소포의 크기는 더 이상 커지지 않고 전체적으로 은색의 밝은 채색이 나타나기 시작한다(Fig. 3H).

부화 후 80일째에는 전장이 22.8 mm, 100일째 28.5 mm, 200일째 48.5 mm, 300일째 67.8 mm 성장하여 칼납자루(김 등, 2011)의 경우와 같이 만 1년 후에는 재생산이 가능한 새로운 연령 군에 가입할 수 있다(Fig. 4).

고 찰

어류의 개체 발생은 계통의 특징을 반복적으로 나타내며 초기생활사에 대한 연구는 난의 형태적 생태적 특징과 더불어 배 발생 및 초기 성장과정을 거치면서 나타나는 종의 고유 형질, 발달 특성 등 어종에 대한 많은 정보를 담고 있기 때문에 분류학적, 발생학적, 생태학적으로 유사 종 사이에 근연관계를 연구하는 기초자료가 된다. 또한 이를 토대로 어족 자원의 보존과 보호 및 종묘생산을 통한 증식 등에 다각도로 활용할 수 있다. 큰줄납자루는 외부 형태적으로 유사한 줄납자루보다 비교적 크고 납자루아과 내의 대

형종인 큰납지리에 비해 약간 작은 중대형 종이다(Kim and Yang, 1998). 사육 중 다른 종들과 다르게 새 산란이 어려운 점들은 아과 내 다른 종들에 비해 스트레스에 특히 민감한 종으로 생각된다. 납자루 종류는 산란 속주의 존재 여부에 따라 산란관의 신장 정도의 차이가 있기도 하지만(채, 2001) 채란 시 본 종의 체장에 대한 산란관 길이의 비는 50.6~53.5%로 각시붕어 105~165%(金과 韓, 1990)나 흰줄납줄개 100~150%(金과 朴, 1985), 한강납줄개 38.4~45.2%(김 등, 2006), 큰납지리 84.0~89.9%(김 등, 2012)와 차이가 있으며 이는 자연 상태의 산란속주인 조개의 선택성에 따른 생식 전략과 관련된 종의 특성이라고 본다(백과 송, 2005a). 큰줄납자루의 1회당 채란된 알의 수는 40~122개로 개체에 따라 차이가 많았고 암컷의 크기와 상관성은 보이지 않았다(Table 1). 암컷의 크기와 포란 수의 상관관계가 있으나 자연에서 채집한 어미를 인공 채란할 경우는 초산인지 재차 산란인지 확인이 어렵기 때문에 상관관계를 논의하기는 무리가 있다고 본다. 다만 개체에 따라 채란 수의 편차가 큰 점은 일정 간격을 두고 다회 산란하는 납자루아과의 특징(Suzuki and Jeon, 1987; 양, 2004)을 공유하고 있다고 본다. 종에 따른 납자루아과 어류의 난의 형태는 전구형(Bulb type)을 나타내는 납줄개속(Genus *Rhodeus*)과 서양배형(Pear shape), 방추형(Fusifiform), 둥근타원형(Round oval)의 알을 가지는 납자루속(Genus *Acheilognathus*)으로 뚜렷이 구분된다. 큰납지리의 난형은 둥근타원형으로 납자루속의 특징을 공유하고 있음을 알 수 있다(Table 3, Fig. 2A). 이러한 형태의 알을 가진 납자루속 5종 중에서 큰줄납자루의 알은 줄납자루(*A. yamatsutae*), 가시납지리(*A. chancaensis*), 큰납지리(*A. macropterus*)에 비해 약간 크고 납지리(*A. rhombeus*)와 비슷한 크기를 보인다. 종 별로 알의 형태와 크기의 차이는 산란속주인 조개의 체내에서 토출되지 않고 안전하게 부화에 이를 수 있도록 유지된 종의

생존 전략이라고 보며 산란 시기, 포란 수, 미세서식처 등 다각적인 생활사 환경 요인들을 고려한 연구가 필요하다 (백과 송, 2005a).

수온 $18.0 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 관찰한 난내 발생 과정은 수정 후 배반이 형성되기까지 40분이 경과하였고 이후 매 20분마다 세포의 분할이 진행되어 5시간 만에 상실기에 이르고 수정 후 10시간 30분 정도에 포배가 시작되었다. 난할이 매 30분 만에 진행되는 각시붕어, 한강납줄개, 칼납자루, 가시납지리 등의 아과 내 여러 종에 비해 난할은 빠르게 진행되었지만 포배는 2시간 정도 더디게 나타나 났다 (Suzuki *et al.*, 1985;鈴木과 田, 1990b; 김 등, 2006; 김 등, 2011). 부화에 도달하는 경과 시간은 평균 43시간으로 알의 크기가 작고 둥근타원형인 줄납자루 39시간 (Suzuki and Jeon, 1987)과 가시납지리 38시간 (鈴木과 田, 1990b)보다는 약간 길고 알이 크고 방추형인 납자루의 62시간과 칼납자루의 49시간에 비해서는 짧게 나타났다 (鈴木과 田, 1990a; 김 등, 2011). 수정란의 난 발생 속도는 일정 수온의 한도 내에서는 수온과 상관관계가 있기에 본 종의 경우도 난 발생 시 부화에 이르는 경과 시간은 유지 수온에 따라 차이가 있다고 본다 (김 등, 2011). 납자루아과 어류는 부화 후 전기자어의 형태는 속 간 차이가 뚜렷하다. 납줄개속의 전기자어는 부화 직후 난황에 익상돌기 (Yolk projection)가 발달하지만 납자루속은 둥근 난황에 미세한 포피상돌기 (Minute tubercle)가 발달하여 자어의 발달이 지남에 따라 돌기가 성장하고 부출기에 이르면 소멸되는 특징이 있다 (Suzuki *et al.*, 1985; Suzuki and Jeon, 1988a;鈴木과 田, 1988d;鈴木과 田, 1990b). 큰줄납자루의 부화 자어는 익상돌기가 없고 난황 표면에 미세한 돌기가 발달해 있어 납자루속의 특징을 잘 나타내고 있다 (Fig. 3A). 숙주 속에서 난황이 완전히 소비되고 외부섭식을 하기 위해 조개의 밖으로 나오기 전까지는 유영의 필요성이 전혀 없다. 따라서 꼬리 이외의 다른 기능이나 기관의 발달은 상대적으로 느리게 나타난다. 부화 후 2~3일 내의 전기 자어는 매우 활발한 꼬리운동을 하는데 이는 숙주의 안정된 장소를 찾아 토출되지 않도록 하는 생존 적응 전략으로 판단된다. 부화 후 2~3일 경 납지리, 가시납지리, 큰납지리의 경우에서처럼 자어가 오목하게 변형되어져 S자 형태를 보이는 활발한 몸체의 운동성은 없었으며 기간이 경과함에 따라 난황의 변형과 축소 형태는 임신납자루, 목납자루, 줄납자루, 칼납자루와 유사하여 이들 종들과 유연관계가 있다고 추정된다 (鈴木과 田, 1989;鈴木과 田, 1990b; Suzuki and Jeon, 1991). 본 종은 부화 후 25일 경에 난황이 거의 소멸되고 인공 사료에 대한 반응이 나타나 자연 상태에서는 이 시기에 산란 숙주인 담수 조개에서 부출하여 자유 유영과 스스로 먹이 활동을 할 수 있는 조건이 갖추어 진다고 사료된다. 추계 산란형인 납지리를 제외한 대부분 납자루아과 어류의 부출기가 부화 후 20~28일

로 보고된 경우를 감안하면 본 종도 추계 산란형과 공통된 생활사 특성을 가진다 (Suzuki *et al.*, 1985; Suzuki and Jeon, 1987; Suzuki and Jeon, 1988a, b; Suzuki and Jeon, 1991; 김 등, 2011).

납자루아과 어류는 소형 담수어로 산란 시기에 아름다운 채색을 나타내 관상어로도 인기가 증대되고 있을 뿐만 아니라 우리나라에 서식하는 14종 중 8종이 고유종으로 고유화 빈도가 50% 이상으로 한반도에 분포하는 담수어의 종분화 연구를 위한 소중한 자료가 될 수 있다. 최근 국내 대형 강과 지천의 소하천 개발은 본 종의 생존에 대한 위협을 빠르게 확산시키고 있다. 고유종 담수어의 종 보존에 대한 기초 생활사 연구와 재생산 기술의 정보 축적은 국가적 생물자원의 주권확보 차원에서도 매우 귀중한 가치가 있으며 개체군 확산을 위한 안정된 환경의 유지에 대한 노력과 보존을 위한 지속적인 연구가 필요하다고 사료된다.

요 약

한국 고유종인 큰줄납자루 *Acheilognathus majusculus*의 종 보존을 위한 기초 자료를 확보하기 위해 난 발생과 자어의 성장을 관찰하고 초기생활사 특성을 논의하였다. 수정란은 둥근 타원형으로 평균 장경이 2.12 mm (2.08~2.18 mm), 단경이 1.86 mm (1.80~1.98 mm)이며 담황색 난황을 가진 분리침성란이다. 개체 당 산란 수는 40~112개 (평균 72개)였고 수정란은 수온 $18 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 에서 수정 후 43시간 만에 부화하였다. 부화 직후 자어의 크기는 4.23 mm이고 형태적으로 납자루속의 자어 특성을 공유하고 있으며 자어 시기의 S자 운동은 없었다. 부화 후 25일 경에 소화기관이 완성되고 외부 먹이를 먹을 수 있어 자연에서 조개로부터 부출하는 시기로 추정된다. 만 1년 후에는 재생산이 가능한 크기로 성장한다.

사 사

본 연구는 국립수산물연구원 경상연구과제 “수산생물 종 보존 및 복원연구” (RP-2014-AQ-227) 시험연구비에 의해 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- 金容億 · 朴洋成. 1985. 흰줄납줄개의 卵發生과 孵化仔魚. 한국 수산학회지, 18: 586-593.
金容億 · 韓景鎬. 1990. 실험실에서 사육한 한국산 각시붕어, *Rho-*

- deus uyekii*의 초기생활사. 한국어류학회지, 2: 159-168.
- 김익수 · 김치홍. 1989. 한국산 잉어과 어류 칼납자루(*Acheilognathus limbata*)와 목납자루(*A. signifer*)의 초기발생과 분류에 관한 연구. 한국동물학회지, 32: 22-33.
- 김익수 · 최 윤 · 이충렬 · 이용주 · 김병직 · 김지현. 2005. 원색 한국어류대도감. 교학사, 615pp.
- 김치홍. 1991. 한국산 납자루속 어류의 계통분류학적 연구. 전북대학교 박사학위논문, 132pp.
- 김치홍 · 강인중 · 김중화. 2006. 한강납줄개, *Rhodeus pseudosericeus* Acheilognathinae의 난 발생과 초기생활사. 한국어류학회지, 18: 266-272.
- 김치홍 · 石鍋壽寬 · 김민경 · 김우진. 2012. 일본에 서식하는 큰납지리의 난발생과 초기생활사. 한국어류학회지, 24: 101-109.
- 김치홍 · 이완옥 · 이종하 · 백재민. 2011. 고유종 칼납자루의 재생산 기초연구. 한국어류학회지, 23: 150-157.
- 백현민 · 송호복. 2005a. 목납자루, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae; Acheilognathinae)의 폐 내 산란과 적응전략. 한국생태학회지, 28: 105-111.
- 백현민 · 송호복. 2005b. 목납자루, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae; Acheilognathinae)의 난 형태와 초기 생활사. 한국생태학회지, 28: 281-286.
- 宋鎬復 · 權伍吉. 1994. 衣岩湖에 棲息하는 鱖납자루(*Acheilognathus yamatustae* Mori)의 産 卵 및 發生 特性에 關한 研究. 한국육수학회지, 22: 51-70.
- 양 현. 2004. 칼납자루 *Acheilognathus koreensis*와 임실납자루 *A. somjinensis*의 생태와 종 분화. 전북대학교 대학원 박사학위논문, 100pp.
- 鈴木伸洋 · 田祥麟. 1988d. 安城川産 鱖납줄개의 卵發生과 仔魚의 發育 및 仔魚의 表皮上 突起에 關하여. 한국육수학회지, 21: 1-15.
- 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: 73-82.
- 鈴木伸洋 · 田祥麟. 1990a. 熊川川 水系産 납자루의 個體發生. 한국어류학회지, 2: 77-87.
- 鈴木伸洋 · 田祥麟. 1990b. 가시납지리의 卵發生과 仔魚의 發育 및 仔魚의 表皮上突起. 한국어류학회지, 2: 169-181.
- 채병수. 2001. 각시붕어, *Rhodeus uyekii* (Pisces: Cyprinidae)의 산란관의 신장. 한국어류학회지, 13: 111-116.
- 환경부. 2013. 야생생물 보호 및 관리에 관한 법률. [시행 2014.07.17] [법률 제11912호, 2013.07.16, 일부개정]
- 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.
- Kim, I.S. and H. Yang. 1998. *Acheilognathus majusculus*, a new bitterling (Pisces: Cyprinidae) from Korea, with revised key to species of the genus *Acheilognathus* of Korea. Korean J. Bio. Sci., 2: 27-31.
- 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: 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: 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: 211-229.
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1988c. Development of the bitterling, *Acheilognathus suigensis* (Cyprinidae) from Korea, with note on minute tubercles on the skin surface. Kor. J. Lim., 21: 231-242.
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1991. Development of the bitterling, *Acanthorhodeus rhombus* (Cyprinidae), from Korea. J. Basic Sci., Sang Myung Women's University, 5: 53-62.
- Suzuki, N. and T. Hibia. 1984. Development of eggs and larvae of two bitterlings, *Rhodeus atremius* and *R. suigensis* (Cyprinidae). Japan. J. Ichthyol., 31: 287-196.
- Suzuki, N., N. Akiyama and T. Hibia. 1985. Development of the bitterling *Rhodeus uyekii* (Cyprinidae), with a note on minute tubercles on the skin surface. Japanese J. Ichthyol., 32: 28-34.