

묵납자루, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae)의 난 형태와 초기생활사

백 현 민 · 송 호 복*

강원대학교 자연과학대학 생명과학부

Egg Morphology and Early Life History of *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae)

Baek, Hyun-Min and Ho-Bok Song*

Division of Life Sciences, College of Natural Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

ABSTRACT: The ripe unfertilized eggs of *Acheilognathus signifer* were elliptical shape and baggily swollen toward animal pole. The size of fertilized eggs were 2.19 ± 0.01 mm in long axis and 1.85 ± 0.08 mm in short axis and oil globe were not observed. The zona radiata of *A. signifer* had the structure of regular fibrillar net and the diameter of outer opening micropyle was about $2.5 \mu\text{m}$ and that of inner opening micropyle was about $1.5\text{--}2.0 \mu\text{m}$. Development of fertilized eggs in *A. signifer* was proceeded in inclining position of animal pole and hatched in 49 hours under $20 \pm 1^\circ\text{C}$. The yolk sac was absolutely absorbed in 21 days after hatching.

Key words: *Acheilognathus signifer*, Early life history, Egg morphology, Micropyle

서 론

어류의 초기생활사(early life history)에 대한 연구는 난의 형태적, 생리적 특징과 더불어 배발생(embryological development) 및 초기 성장 과정을 거치면서 나타나는 종의 고유 형질, 발달특성 등 어종에 대한 많은 정보를 담고 있기 때문에 다양한 분류학적, 발생학적, 생태학적 지식을 얻을 수 있으며, 이를 토대로 어족 자원의 보존과 보호 및 중요 생산을 통한 증식 등에 다각도로 활용할 수 있다(송과 최 2000).

납자루아과(Acheilognathinae) 어류는 다른 잉어과(Cyprinidae) 어류와 달리 담수산 이매패인 석패과(Bivalvia: Unionidae) 조개를 숙주로 이용하는 독특한 산란습성을 가지고 있어, 대부분의 잉어과 어류가 생활사 초기에 외부 수환경에 노출되는 반면, 납자루아과 어류는 조개의 내부 환경에 영향을 받게 되므로 숙주 조개의 아가미 안에서 초기 발생을 하기 위한 형태적, 생리적, 행동학적인 숙주적응(host adaptation) 현상을 보인다(백과 송 2005).

잉어과(Cyprinidae)의 납자루아과(Acheilognathinae) 어류는 세계적으로 약 40여종이 분포하고 있으며, 묵납자루, *Acheilognathus signifer*는 한국 고유종으로 한강 수계를 포함하여 그 이북 지역인 임진강, 대동강, 압록강, 성천 및 회양 등에 분포한다(Uchida 1939, 김 등 2005). 납자루아과 어류들은 대부분 하천의 중하류에 주로 서식하지만 *A. signifer*는 중상류 지역에 서식하며, 돌과 자갈로 이루어진 하상보다 빨과 모래의 비율이 높고,

하천변에 수초가 무성한 정수역을 선호하는 특징이 있으며, 산란숙주로 이용하는 이매패는 작은말조개, *Unio douglasiae sinuolatus*로 알려져 있다(백 2005).

*A. signifer*의 초기생활사에 관한 연구로는 Uchida (1939)가 회양지역에서 채집한 개체를 대상으로 완숙난의 형태와 자어의 발육 특성을 간략히 보고하였고, Suzuki and Jeon (1988a)은 임진강 및 남한강 수계에서 채집한 개체를 대상으로 난발생, 자어의 발육 및 표피상돌기에 관하여, 김과 김(1989)은 초기 발생과정을 보고한 바 있다.

본 연구는 북한강 상류에 서식하는 *A. signifer*를 대상으로 난과 난문의 형태적 특징을 규명하고, 난 발생과 전기자어의 발달 특성을 조사, 연구함으로써 숙주 조개에 적응하여 발달하는 초기생활사에 대한 이해와 더불어 개체군이 심각하게 감소하고 있는 본 종의 보존과 보호를 위한 생물학적 기초 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구를 위하여 2004년 5월에 북한강 상류인 강원도 홍천군 내촌면 내촌천($37^\circ 48' 10'' \text{N}$, $128^\circ 05' 14'' \text{E}$)에서 족대(망목 $5 \times 5 \text{ mm}$)와 유인망($25 \times 25 \times 70 \text{ cm}$, 망목 $3 \times 3 \text{ mm}$)을 이용하여 채집하였다.

난의 형태 및 난문을 관찰하기 위해 산란이 임박하여 산란관이 최대로 신장된 개체로부터 복부를 압박하여 난을 채취하였으며, 1% Karnovsky's fixative 로 고정된 후 0.05 M cacodylate bu-

* Corresponding author; Phone: +82-16-365-9861, e-mail: hoboksong@hanmail.net

ffer로 각 20분씩 3회, 1% osmic acid로 2시간 처리하고 세척 후 ethanol 탈수 과정과 amylocetate 용액을 거쳐 critical point dryer로 건조시켰다. 이를 gold coating (POLANON SC-7620) 후 주사전자현미경(ZEISS LEO-1420VP)으로 관찰하면서 촬영하였다.

난발생 실험에 사용한 친어는 산채로 실험실로 운반 후 암컷 3마리(체장: 52 mm, 56 mm, 58 mm)와 수컷(체장: 64 mm)으로부터 성숙란과 정액을 채취한 후 건도법으로 인공 수정하였다. 부화조는 유리수조를 사용하였고, 사육수는 수돗물을 탈염소하여 3일에 한번씩 수조물의 50%를 환수하였으며, 수온은 $20\pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하였다. 난 발생 중 교란요소를 최대한 억제하기 위해 공기공급을 위한 기포석을 거즈로 싸서 기포에 의한 교란을 방지하였고, 조개 내부와 비슷한 조건을 유지하기 위해 어렵게 하였다. 발생과정은 해부현미경 하에서 매일 성장 단계별 외부 형태의 변화와 특징을 기록, 관찰, 촬영 및 스케치하였고, ocular microscope를 사용하여 체장 등을 0.01 mm 단위까지 측정하였다.

결 과

난의 형태 및 특징

*A. signifer*의 난은 비점착성의 분리 침성란(demersal egg)으로 미성숙란은 구형이며 그 크기가 작으나, 성숙란은 동물극쪽으로 불룩하게 부푼 서양배 모양으로, 진한 황색을 띤다. 수정란의 크기는 장경이 2.19 ± 0.01 mm, 단경이 1.85 ± 0.08 mm로 장경이 단경보다 긴 모양이며 유구(oil globe)는 관찰되지 않았다(Fig. 1).

난문(micropyle)

*A. signifer*의 난을 주사전자현미경으로 관찰한 결과 동물극쪽에 난문(micropyle)이 관찰되었다. 난문 개구의 근원부를 둘러싸고 있는 방사대(zona radiata)는 그물과 같이 규칙적인 섬유성 그물(fibrillar net)구조로 되어 있었다. 난문관은 외측구에서 내측구로 갈수록 좁아지며 외측구의 직경이 약 $2.5 \mu\text{m}$ 정도이고 내측구는 약 $1.5\sim 2.0 \mu\text{m}$ 이었다(Fig. 2).

발생

수정 후(Fig. 3-A), 약 30분 후부터 난각(chorion)이 분리되기 시작하였다(Fig. 3-B). 수정 후 약 1시간이 지나면 동물극(animal pole) 쪽에서 경사지게 배반(blasto disk)이 형성되었고(Fig. 3-C), 수정 후 약 2시간 10분이 경과하여 경할에 의해 배반이 2개로 나누어졌다(two-cell stage, Fig. 3-D). 수정 후 약 2시간 40분이 경과하면서 배반이 4개로 나누어졌고(four-cell stage, Fig. 3-E), 수정 후 약 3시간이 경과하면서 배반이 8개로 나누어졌다(eight-cell stage, Fig. 35-F). 수정 후 약 3시간 30분이 경과하면서 배반이 16개로 나누어지고(sixteen-cell stage, Fig. 3-G), 수정 후 약 4시간이 경과하면서 배반이 32개로 나누어졌으며(thirty-cell stage, Fig. 3-H), 수정 후 약 4시간 30분이 경과하면서 상실배를 형성하였다(morula stage, Fig. 3-I). 수정 후 약 5시간 50분이 경과하면서 포배를 형성하였고(blastula stage, Fig. 3-J), 수정 후 약 17시간 40

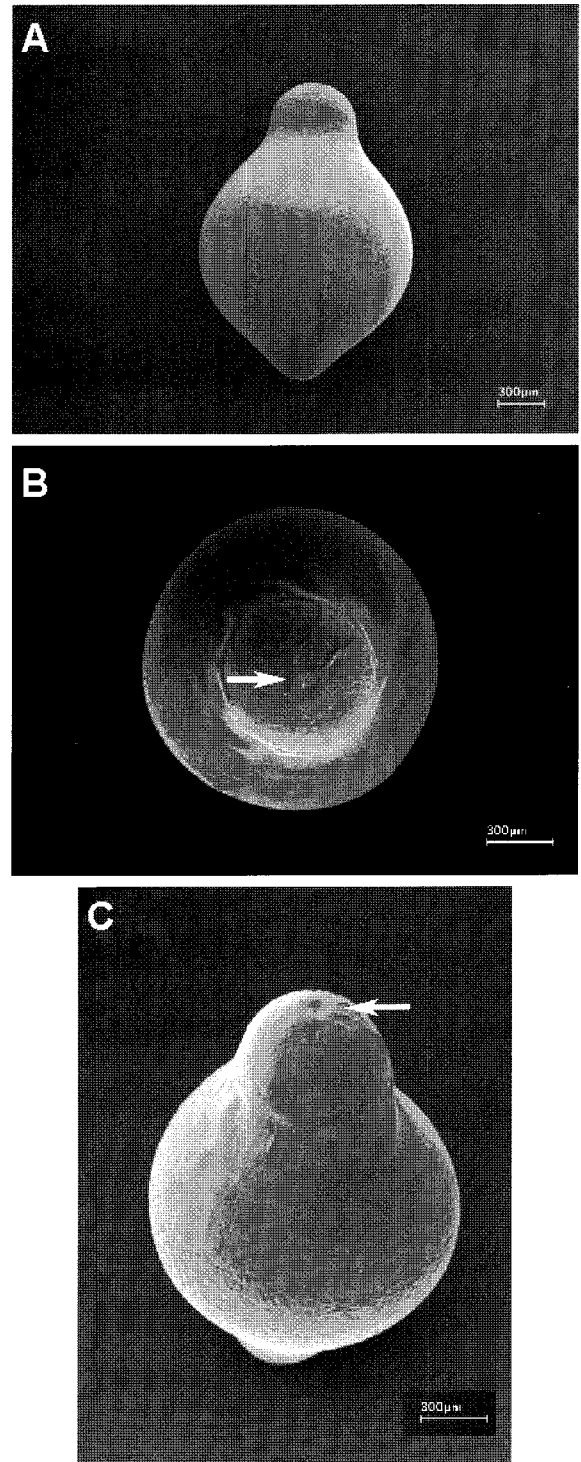


Fig. 1. Morphology of the mature eggs in the Korean bitterling, *Acheilognathus signifer*.

A: frontal view, B: downward view, C: lateral view, Arrows indicate micropyle.

분이 경과하여 낭배를 형성하였으며(gastrula stage, Fig. 3-K), 수정 후 약 31시간 30분이 경과하면서 신경배가 형성되었다

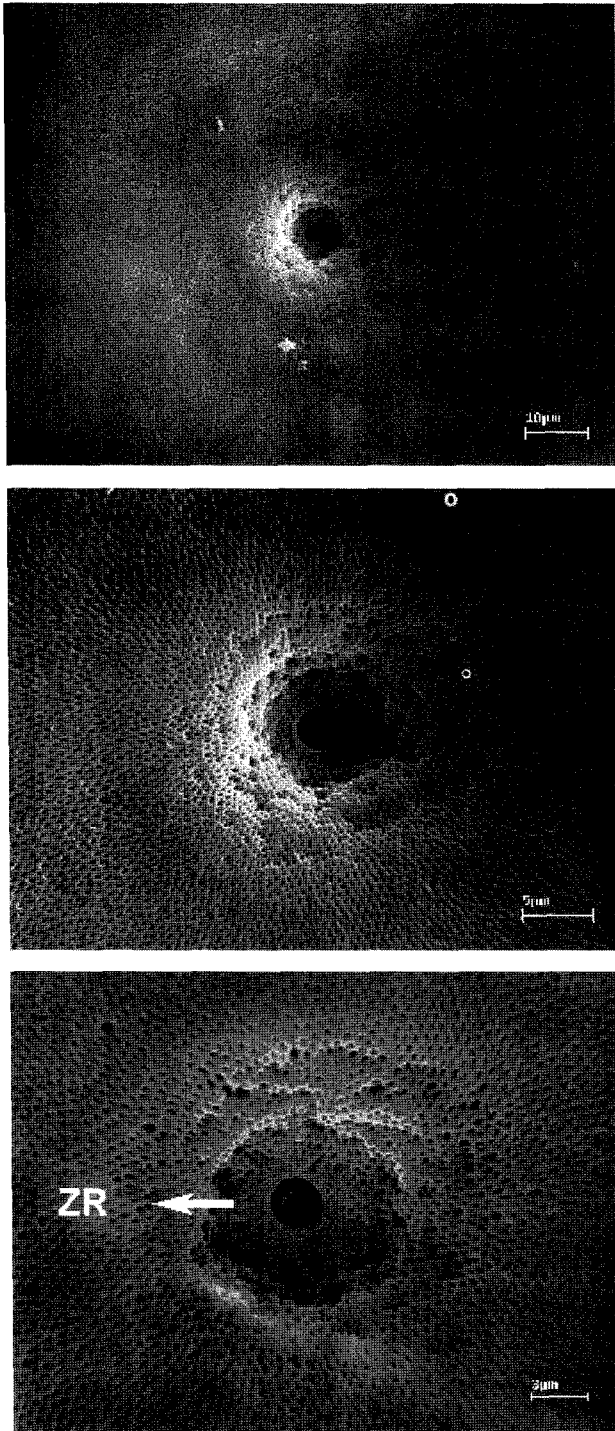


Fig. 2. Scanning electron micrographs of micropyle of matured egg at the animal pole in Korean bitterling, *Acheilognathus signifer*. ZR: zona radiata, in the micropyle region, Arrow indicates open micropyle canal.

(neurula stage, Fig. 3-L). 수정 후 약 32시간 40분이 경과되어 체절이 형성되기 시작하였고(somites formation, Fig. 3-M), 수정 후 약 49시간 만에 난각을 뚫고 부화하였다(hatching, Fig. 3-N).

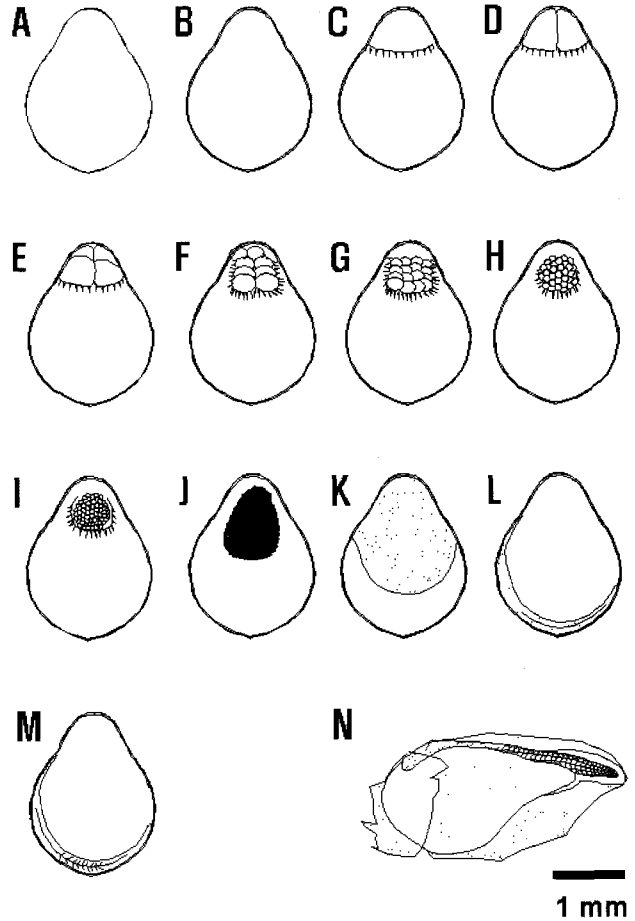


Fig. 3. Egg development of Korean bitterling, *Acheilognathus signifer* sampled at Naechoncheon in Hongcheon-gun, Gangwon-do in May, 2004. Description of time means times after insemination. A: fertilized egg (immediately after insemination), B: Chorion separated from plasma membrane (30 min.), C: formation of blasto disc (1 hr.), D: 2 cell stage (2 hrs.), E: 4 cell stage (2 hrs. 40 min.), F: 8 cell stage (3 hrs.), G: 16 cell stage (3 hrs. 30 min.), H: 32 cell stage (4 hrs.), I: morula (4 hrs. 30 min.), J: blastula (5 hrs. 50 min.), K: gastrula (17 hrs. 40 min.), L: neurula (31 hrs. 30 min.), M: somites formation (32 hrs. 40 min.), N: hatching (49 hrs.).

*A. signifer*는 동물극의 상부가 아닌 측면에서 난할이 진행되어 배반이 아래쪽으로 일정한 각도로 기울어져 있으며, 낭배 형성시 배반이 아래로 떨어내려 올 때에도 전체적으로 균일하게 떨어지지 않고 기울어진 한 방향으로 떨어 내려오는 특징이 관찰되었다(Fig. 4).

전기자어의 발달

부화 직후에는 전장이 3.32~3.41 mm였고, 미부는 아래쪽으로 약간 휘어 완전히 펴지지 않았다. 2쌍의 이석이 뚜렷이 관찰되었고, 체표면 전체에 표피상돌기가 관찰되었다(Fig. 5-A). 부화

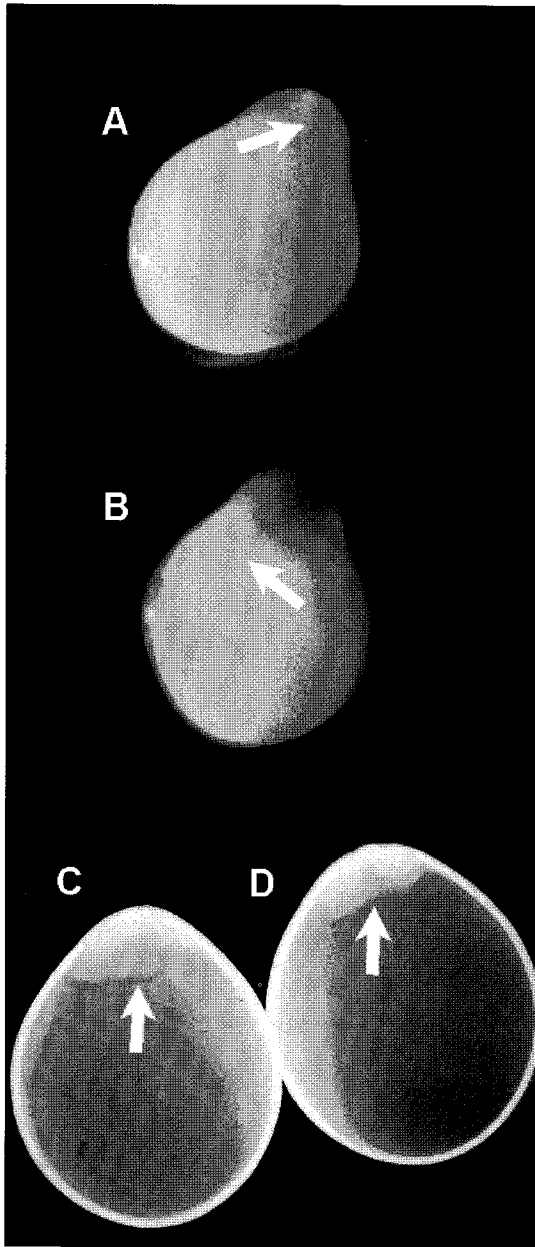


Fig. 4. Egg development of Korean bitterling, *Acheilognathus signifer* and Korean striped bitterling, *A. yamatsutae*.

A: formation of blasto disc of *A. signifer*, B: gastrula stage of *A. signifer*, C: formation of blasto disc of *A. yamatsutae*, D: 2-cell stage of *A. yamatsutae*, Arrows indicate blasto disc(A, C) and blastoderm(B, D).

후 3일이 경과하면서 전장 5.47~5.93 mm까지 성장하였고 부화 직후에 비해 외형적으로 난황이 작아지고, 미부가 길어졌으며, 외부자극 없이도 약 1 cm 내외를 이동하였으나, 아직 균형감과 방향성은 없었고 꼬리의 운동이 비교적 활발하였다. 머리 부분에서는 안포와 심장 박동이 관찰되었다(Fig. 5-B). 부화 후 5일이 지나면서 전장 6.82~7.03 mm 까지 성장하였으며, 심장은 더욱

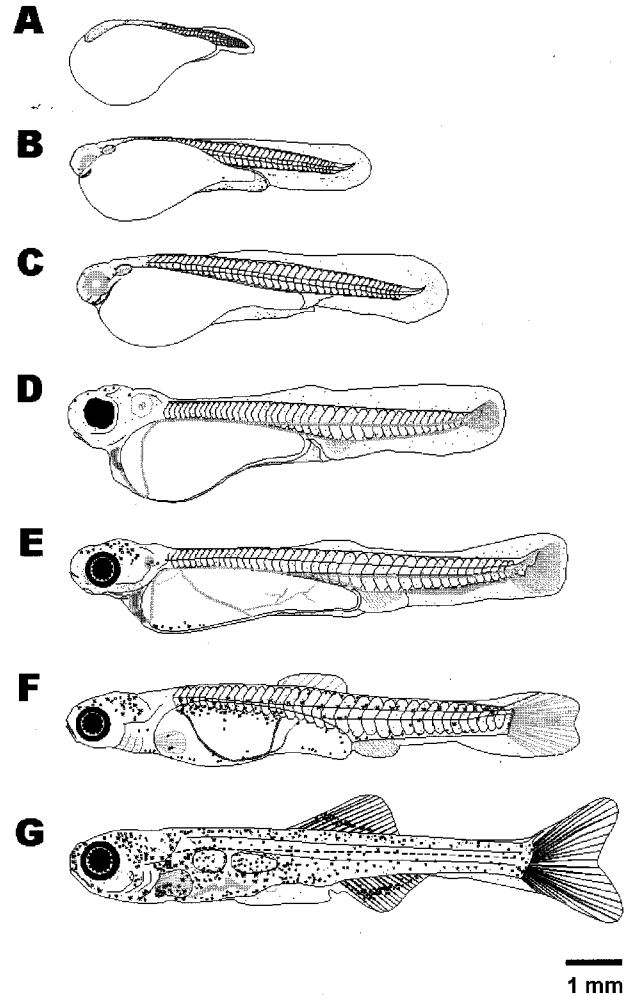


Fig. 5. Development of pre-larvae of Korean bitterling, *Acheilognathus signifer*.

A: immediately after hatching (total length, 3.39 mm), B: 3 days after hatching (total length, 5.62 mm), C: 5 days after hatching (total length, 6.91 mm), D: 8 days after hatching (total length, 7.95 mm), E: 12 days after hatching (total length, 8.81 mm), F: 18 days after hatching (total length, 9.45 mm), G: 21 days after hatching (total length, 10.32 mm).

커지고 혈액의 흐름과 혈액소가 관찰되었다(Fig. 5-C). 부화 후 8일이 경과하면서 전장이 7.87~8.05 mm까지 성장하였으며, 안구가 흑색소포로 인해 검게 보이고 아가미의 흔적과 가슴지느러미의 원기가 관찰되었다. 운동성이 매우 활발해 한번에 4~6 cm 이상 이동할 수 있으며 바닥에서 위로도 2~4 cm 이상 상승할 수 있다(Fig. 5-D). 부화 후 12일이 경과하면서 전장 8.79~8.82 mm 까지 성장하여 머리와 난황의 아래 부분에 흑색소포가 생성되기 시작하였다. 아가미덮개와 턱 운동이 활발하였으며, 혈액순환이 매우 활발하여 현미경 하에서 혈액의 흐름 방향이 뚜렷이 관찰되었다. 꼬리지느러미살이 19개 정도 생성되었으나 등지느러미살은 아직 관찰되지 않았다(Fig. 5-E). 부화 후 18일이

경과하면서 전장 9.38~9.51 mm까지 성장하였고, 뒷지느러미에 흑색소포가 형성되기 시작하였다. 흑색소포와 황색소포는 몸 전체로 확산되었고, 아가미덮개와 턱 운동이 더욱 활발해지며, 균형 잡힌 움직임을 보였다(Fig. 5-F). 부화 후 21일이 경과하면서 전장 9.64~10.54 mm까지 성장하였으며 난황이 완전히 흡수되었고, 부레와 소화관이 뚜렷하게 관찰되었다. 흑색소포는 몸 전체로 확산되었으며, 등지느러미와 뒷지느러미에 흑색소가 띠 모양을 형성하였고 꼬리지느러미와 더불어 지느러미살이 완전히 형성되었다. 그러나 배지느러미 원기 부분에는 embryo fin이 남아 있었다(Fig. 5-G).

고 찰

*A. signifer*의 난의 형태는 일반 잉어과 어류의 난이 원형인 것과 달리 장축이 긴 타원형(elliptical shape)으로 동물극이 불룩하게 솟아 있다. 이러한 난 모양은 동물극쪽이 불룩하여 숙주조개의 수관에 들어가기 유리하게 적응·진화한 것으로 판단된다. 납자루아과 어류 중 각시붕어, *Rhodeus uyekii*나 흰줄납줄개, *R. ocellatus*의 난은 단축에 비해 장축이 매우 길어 뾰족한 형태를 나타내는데, 이 역시 조개 아가미의 수관에 쉽게 들어가기 위한 형태적 적응으로서, 선호하는 숙주조개의 종류에 따라 그 모양이 각기 다른 형태로 적응된 것으로 판단된다. 이 뿐만 아니라 타원형의 난은 원형보다 부피에 대한 표면적의 비율이 크므로 산소의 확산에 유리하다(Aldridge 1999).

*A. signifer*는 조개의 아가미 안에서 난 발생 과정과 전기자어기를 보내므로 산소의 섭취가 제한적이다. 따라서 알의 위란강(perivitelline space)이 매우 좁고, 다른 잉어과 어류에 비해 상대적으로 빠르게 부화하는 것도(Table 1), 배의 보호 기능에 대한 중요성이 상대적으로 덜하면서 산소 확산에 장애가 되는 난각

(chorion)을 빨리 제거함으로써 산소의 흡수 효율을 높이기 위한 수단으로 생각된다. 또한 Waarde *et al.*(1993)에 의하면 납줄개, *R. sericeus*는 숙주 조개 내에서 발생할 수 있는 저산소(hypoxia) 상태에서 glycogen을 lactate 보다는 ethanol과 CO₂로 분해하여 저산소 상태를 견딜 수 있다고 보고하였다. 이러한 ethanol pathway는 산란숙주 내의 생리학적 적응으로 신진대사의 마지막 부산물(end products)을 수증으로 방출함으로써 독성이 쌓이는 것을 막아 숙주조개 내에서 생존할 수 있다고 하였으며, *A. signifer* 역시 조개 안에서 이와 유사한 생리적응을 할 것으로 판단된다.

북한강 수계에 서식하는 *A. signifer*의 난 발생과 전기자어의 발달 양상은 기존의 Suzuki and Jeon (1988a), 김과 김(1989)의 결과와 매우 유의하게 일치하였으며, 각 연구 간에 나타나는 발달 단계별 시차는 수온과 관찰 시점의 차이에서 발생한 것으로 판단되므로 국내의 남·북한강 및 임진강 수계에 분포하는 *A. signifer*의 난 발생과 전기자어의 발달은 차이점이 거의 없다고 할 수 있다. 본 연구에서 *A. signifer*는 수정 후 약 50시간 전후하여 부화하였으며, 난황이 흡수되기까지는 부화 후 21일 정도가 소요되지만, 자연 상태에서는 5월의 수온이 실험 조건과 비슷한 20°C 내외로 유지되나 일반적으로 숙주조개가 약 15°C 내외로 온도가 낮은 모래속에 파고 들어가 있으므로 자연 서식지에서 발생은 본 실험보다 매우 느리게 진행될 것으로 사료된다.

*A. signifer*는 배발생 과정에서 동물극쪽의 측면에서 배반엽이 기울어진 상태로 발생이 진행되었는데, 동물극의 정상부에서 발생이 진행되는 줄납자루, *A. yamatsutae* 등과 같은 다른 납자루아과의 어류의 배발생과 다른 특징이 있었다(Suzuki and Jeon 1988b, 김과 김 1989, 송과 권 1989, Suzuki and Jeon 1989, 김과 한 1990, Suzuki and Jeon 1990a, b). 이러한 현상에 대한 명확한 규명은 하지 못하였으나, 추후 이에 대한 면밀한 조사, 연구가

Table 1. Comparison of early ontogenic stages of Korean bitterling, *Acheilognathus signifer* and silver carp, *Carassius cuvieri*

| Characters | <i>A. signifer</i> | <i>C. cuvieri</i> * |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------|
| Developmental temperature | 20~22°C | 18.0~20.8°C |
| Egg shape | Elliptical | Spherical |
| Egg size before water absorption | 2.19×1.85 mm | 1.38(1.30~1.41) |
| Egg size with perivitelline space | 2.21×1.87 mm | 1.63(1.60~1.70) |
| Hatching | 49 hours (3.43 mm) | 144 hours (5.2 mm) |
| First locomotion | 0.5 day (4.01 mm) | 144 hours (5.2 mm) |
| Blood first pigmented | 5 days (6.91 mm) | No data |
| Eyes first pigmented | 6 days (6.78 mm) | 72 hours (in egg) |
| First melanophores | 8 days (7.95 mm) | 72 hours (in egg) |
| Free swimming | 21 days (10.32 mm) | 2 days (6.0 mm) |
| Yolk sac resorbed | 21 days (10.32 mm) | 14 days (6.8 mm) |
| Exogenous feeding | 21 days (10.32 mm) | 14 days (6.8 mm) |

* All data on *C. auratus cuvieri* from Nakamura(1969).

** Days for larvae stage represent time after hatching.

필요할 것으로 생각된다(Fig. 4).

대부분의 잉어과 어류는 난 내 발생 시간이 긴 대신 부화 직후 전기자어의 내, 외부 기관이 대부분 형성되어 있으나(김 등 1991, 송과 최 1997), *A. signifer*는 부화시간이 매우 빠른 반면 체절이외에 다른 기관들이 거의 생성되어 있지 않은 상태로 부화가 이루어진다. 그러나 부화 후 *A. signifer*의 전기자어는 매우 활발한 꼬리운동 능력을 가진다. 이러한 이유는 운동성이 없어 토출의 위험성을 항상 가지고 있는 알 시기를 빨리 보내고 숙주 아가미의 수관(water tube)속 깊이 이동하거나 토출에 대비한 운동성을 획득함으로써 토출의 위험으로부터 벗어나기 위한 적응 전략으로 판단된다(송 1994).

눈의 발달과 body의 색소에 의한 보호색은 유영 생활을 하는 자어에게는 매우 중요하지만, *A. signifer*의 경우 직접적인 포식의 위협 없이 조개 안에서 성장하게 되므로, 눈의 발달과 색소의 발달은 다른 잉어과 어류에 비해 비교적 느리게 나타나는 것으로 판단된다. 또한 수중에 산란하는 전형적인 잉어과 어류의 경우 부화 후 가능한 빨리 유영력을 획득하여 포식자의 위협으로부터 벗어나야 한다. 그러나 조개 안의 *A. signifer*는 난황이 완전히 소비되고 외부섭식(exogenous feeding)을 하기 위해 조개의 밖으로 나오기 전까지는 유영의 필요성이 전혀 없다. 따라서 활발한 꼬리운동 이외의 다른 기능이나 기관의 발달은 상대적으로 느리게 나타났다(Table 1).

적 요

*A. signifer*의 성숙란은 타원형이며 동물극쪽이 불룩하게 부풀어 오른 모양이다. 수정란의 크기는 장경이 2.19 ± 0.014 mm, 단경이 1.85 ± 0.080 mm로 장경이 단경보다 긴 모양이며 유구(oil globe)는 관찰되지 않았다. *A. signifer*의 방사대(zona radiata)는 그물과 같이 규칙적인 섬유성 그물(fibrillar net)구조로 되어 있었으며, 외측구의 직경이 약 $2.5 \mu\text{m}$ 정도이고 내측구는 약 $1.5\sim 2 \mu\text{m}$ 이었다.

*A. signifer*의 수정란은 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 하에서 동물극쪽에서 배반엽이 일정한 각도로 기울어져 발생이 진행되었으며 49시간 만에 부화하였고, 부화 후 21일이 경과하여 난황이 모두 흡수되었다.

인용문헌

김용억, 한경호. 1990. 실험실에서 사육한 한국산 각시붕어, *Rhodeus uyekii*의 초기생활사. 한국어류학회지 2: 159-168.
 김익수, 최윤, 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현. 2005. 원색한국어류 대도감. 교학사, 서울, pp. 106-112.

김익수, 김치홍. 1989. 한국산 잉어과 어류 칼납자루 (*Acheilognathus limbata*)와 묵납자루(*A. signifer*)의 초기발생과 분류에 관한 연구. 동물학회지 32: 22-23.
 김재구, 홍영표, 안광국, 최신석. 1991. 한국 특산종, 감돌고기의 초기발생에 관한 연구. 한국어류학회지 24: 129-136.
 백현민. 2005. 묵납자루 *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae)의 생태학적 연구. 강원대학교 박사학위논문. pp. 1-186.
 백현민, 송호복. 2005. 묵납자루 *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae; Acheilognathinae)의 폐 내 산란과 적응전략. 한국어류학회지 17: 105-111.
 송호복. 1994. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae* Mori (잉어과)의 생태학적 연구. 강원대학교 박사학위논문. pp. 1-181.
 송호복, 권오길. 1989. 의암호에 서식하는 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae* Mori)의 산란 및 발생 특성에 관한 연구. 한국어류학회지 22: 51-70.
 송호복, 최신석. 1997. 금강모치(*Moroco kumgangensis*)의 난 발생과 자어의 성장. 한국어류학회지 30: 67-74.
 송호복, 최신석. 2000. 버들붕어, *Macropodus chinensis*의 생식생태와 초기생활사. 한국어류학회지 33: 282-294.
 Aldridge, D.C. 1999. Development of European bitterling in the gills of freshwater mussels. J. of Fish Biol. 54: 138-151.
 Nakamura, M. 1969. Cyprinid fishes of Japan, Studies on the life history of cyprinid fishes of Japan. Res. Inst. for Natural Resources, Tyoko, pp. 5-99. (in Japanese).
 Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1988a. Development of the bitterling, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae), with a note on minute tubercles on the skin surface. Kor. J. Lim. 21: 165-179.
 Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1988b. Development of egg and larvae of the bitterling, *Rhodeus suigensis* (Cyprinidae) from Korea, with a note on minute tubercles on the skin surface. Kor. J. Lim. 21: 231-242.
 Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1989. Development of the bitterling, *Acanthorhodus assmusi* (Cyprinidae) with note on minute tubercles on the skin surface. Kor. J. Ichthyol. 1: 73-82.
 Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1990a. Development of the bitterling, *Acanthorhodus* (*Acheilognathus*) *gracilis* (Cyprinidae), with a note on minute tubercles on the skin surface. Kor. J. Ichthyol. 2: 169-181.
 Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1990b. Development *Acheilognathus lanceolatus* from Ungchon river, Korea. Kor. J. Ichthyol. 2: 77-87.
 Uchida, K. 1939. The Fishes of Tyosen. Part 1. Nematognathi and Eventognathi. Bull Fish Exp. St 6. pp. 133-140. (in Japanese).
 Waarde, A. van, G. van den Thillart and Verhagen, M. 1993. Ethanol formation and pH-regulation in fish. In Surviving hypoxia: Mechanisms of Control and Adaptation (P.W. Hochachka, T. Sick, M. Rosenthal and C. van den Thillart, eds), Boca Raton, FL: CRC Press. pp. 157-170.
 (2005년 8월 5일 접수; 2005년 9월 30일 채택)