

동자개의 형태발달과 성장특성

한 경 남 · 남 기 봉 · 정 충 훈*

인하대학교 이과대학 해양학과, *한국해양연구원 해양환경기후연구본부

Development of Eggs, Larvae and Juvenile of the Korean Bullhead, *Pseudobagrus fulvidraco* (Richardson) reared in the laboratory

Kyung-Nam Han, Ki-Bong Nam and Choong-Hoon Jeong*

Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

*Marine Environment and Climate Change Laboratory, Korea Ocean Research & Development Institute (KORDI), Ansan 425-600, Korea

The early developmental stages, growth and morphological changes of the Korean bullhead, *Pseudobagrus fulvidraco*, were studied from a series of reared specimens. Details of the early developmental stages are illustrated with special reference to morphological transformations.

Egg and sperm of Korean bullhead were obtained from mature adults under hormonal treatment, fertilized artificially, and incubated in the aquarium. The incubation period of fertilized eggs was 55 to 66 hours at a temperature of $24.9 \pm 0.34^\circ\text{C}$. Larvae were fed successively with *Artemia salina* and *Daphnia magna* for 2 to 15 days and artificial food after 20 days.

Fertilized eggs were adhesive and spherical with a diameter of 2.04 mm ($n = 100$). The mean total length of newly hatched larvae was about 4.92 ± 0.33 mm. Mouth opening occurred on one-day-old yolk-sac larvae, and initial feeding was observed on the third day after hatching. The morphological transitions from larvae to juvenile and juvenile to young stages occurred when the fish reached about 17 mm in total length (about 13 days after hatching) and about 32 mm in total length (about 30 days after hatching), respectively.

Many changes in proportion of body parts to total length were observed at about 7~8 mm and 30~32 mm, corresponding to the transformations from larvae to juvenile and from juvenile to young, respectively.

In comparing relative growth of each body part against total length, those characteristics related to head parts showed positive growth in the pre-larval stages, while those concerning mobile abilities showed positive growth in the post-larval stage.

Key words : Korean bullhead, *Pseudobagrus fulvidraco*, developmental stages, relative growth, morphological transition

서 론

동자개과 어류는 한국, 일본, 중국 및 보르네오 섬에

이르는 아시아와 아프리카에 걸쳐 서식하고, 전세계에 약 30屬 210種이 알려져 있으며 (Nelson, 1994), 우리나라에서는 2屬 6種이 보고되어 있다 (Choi *et al.*, 1990; Lee and Kim, 1990; 김, 1997). 동자개 *Pseudobagrus*

fulvidraco (Richardson)는 분류학적으로 메기목 (Siluriformes), 동자개과 (Bagridae), 동자개屬 (*Pseudobagrus*)에 속하는 어류로서 인도차이나반도에서 기원하여 우리나라에서는 황해와 남해로 유입되는 하천과 북한, 중국, 일본, 대만 및 시베리아에 분포한다(정, 1977; 진, 1984; Cheng and Zheng, 1987; Lee and Kim, 1990; 최 등, 1990; 김, 1997). 본 종은 어획된 후 가슴지느러미의 가시와 기부의 관절면을 마찰시켜서 내는 소리에서 ‘빠가사리’라는 방언으로 불리며, 형태적으로 머리는 위아래로 납작하며, 몸은 좌우로 매우 납작하고 체고가 높은 편이고, 눈은 머리의 등쪽에 편중되어 있으며, 입가에 4쌍의 수염이 있는 것이 특징이다. 살아 있을 때 체색은 우중충한 황색 바탕에 암갈색의 큰 반문이 있고, 배쪽은 담황색이며, 모든 지느러미에는 검은 색을 띠는 부분이 있다. 자연상태에서 동자개는 유속이 완만하고 사니질이 많은 곳의 바닥에 서식하고, 낮에는 주로 돌이나 수초 등과 같은 은신처에 숨어 있다가 밤에 나와 먹이를 찾으며, 작은 물고기, 어란, 새우류, 수서곤충 및 작은 동물을 섭식한다(최 등, 1990; 김, 1997).

동자개속 (*Pseudobagrus*) 어류에 대한 연구는 일본에 분포하는 *P. aurantiacus* (Temminck and Schlegel)의 난 발생 및 부화자어의 외부 형태발달 (Takeshida and Kimura, 1994)과 일본의 천연기념물인 *Pseudobagrus ichikawai*의 성장과 개체군 생태, 혼인행동과 부화자어의 발생, 형태 (Watanabe, 1994a, b, 1998; Watanabe and Ito, 1999), 동자개속 어류 2종의 분류와 재기재 (Watanabe et al., 1992; Watanabe and Maeda, 1995), 동물지리와 화석종의 신종기재 (Watanabe and Uyeno, 1999) 그리고 동자개과 어류의 생태 (川那部 · 水野, 1989)에 관한 연구가 있고, 동자개 (*P. fulvidraco*)에 대한 연구는 난 발생과 자·치어의 발생에 관한 초기생활사 (강과 이, 1996), 생태 (Uchida, 1939; 정, 1977; 백, 1987; 백과 변, 1992), 생식년 주기 (임과 한, 1997), 세포유전 (Park and Lee, 1996), 분포와 기원 (진, 1984), 분류 (Lee and Kim, 1990) 및 양식 (구 등, 1995; 강 등, 2000)에 관한 연구가 있으나 난에서 유어기에 이르는 전반적인 초기생활사에 관한 생리, 생태학적 기초 연구는 미흡하다.

따라서 본 연구는 초기단계의 동자개의 생리·생태적 특성 연구의 일환으로 산란시기의 동자개를 인위적으로 배란시켜 수정한 후에 난발생 과정과 부화 후 성장에 따른 형태발생학적 특징을 조사하였고, 자·치어 및 유어의 성장단계에 따른 전장에 대한 각 부분장의 상대성장을 측정하여 발육단계를 구분하고자 한다.

재료 및 방법

1. 친어관리 및 인공수정

동자개 친어는 1997년 7월 6일 경기도 평택군 소재 평택호에서 정치망에 채포된 암컷 11마리 (평균전장 224.6 ± 29.1 mm, 평균체중 174.8 ± 56.6 g)와 수컷 9마리 (평균전장 265.9 ± 32.0 mm, 평균체중 195.7 ± 47.7 g)를 사용하였다. 인공수정을 위하여 암·수를 각각 분리하여 상면의 2/3를 차광한 500 l원형 FRP수조에 수용하여 24 시간동안 안정시킨 후, 호르몬을 주사하여 성성숙을 계속 관찰하였다. 이때 수조내 수온은 25°C 로 유지하였다.

인공수정을 유도하기 위하여 생식선자극호르몬 HCG (Human Chorionic Gonadotropin)를 암컷은 20,000 IU/kg, 수컷은 10,000 IU/kg를 등근육에 주사하였고 성숙된 난의 배란상태를 확인하기 위하여 3~4시간 간격으로 복부를 압박하거나 육안 관찰하였다.

호르몬 주사 후 약 24시간이 경과한 뒤, 배란상태가 좋은 암컷으로부터 추출한 성숙난을 사용하여 인공수정을 실시하였다. 채란은 복부를 압박하거나 절개하여 적출한 난소를 사용하였는데, 수정율을 높이기 위해 성숙된 난이라 할지라도 처음과 마지막 난을 버리고 중간부분의 난만을 용기에 넣은 다음, 성숙이 잘된 수컷에서 얻은 정액을 주입하고 잘 혼합되도록 동조액 (염화칼슘, 0.4 g; 염화칼륨, 0.2 g; 식염, 7.4 g; 증류수, 1 l)으로 잘 섞어 주었다. 이때 정액은 수컷의 복부를 절개하여 추출한 정소를 막자 사발에 넣고 잘 갈아서 암컷의 배란유도 30분전에 현미경하에서 운동성을 확인하였다.

2. 난 관리와 자·치어 사육

인공수정 후 수정난은 슬라이드글라스 (76×26 mm) 위에 골고루 뿌려서 500 l원형 FRP수조 3개에 나누어 200 ml/min.의 폭기와 약한 유수하에서 부화될 때까지 난 관리하였다. 난 관리시의 수온은 $24.9 \pm 0.34^{\circ}\text{C}$ 로 유지하였다.

부화 직전의 난은 실내에 설치한 대형 FRP수조 (30 ton)에 1 m^3 당 20,000개체의 밀도로 수용하였다 (韓, 1995). 먹이는 부화 후 2~15일까지 알테미아 (*Artemia salina*) 유생과 물벼룩 (*Daphnia magna*)을 혼합하여 급여하였고, 부화 후 16~20일까지는 물벼룩과 배합사료를, 부화 20일 이후에는 배합사료만 공급하였다. 이때 사육조의 수온은 $24.9 \pm 0.46^{\circ}\text{C}$ 로 유지하였고, 폭기는 난 관리시보다 조금 센 250 ml/min., 환수는 하루에 2~3회 실시하였다.

3. 난발생 및 자·치어의 형태발달 관찰

본 종의 난발생과 자·치어의 성장에 따른 외부형태 변화에 대해서는 강과 이(1996)가 보고한 초기생활사에 관한 연구가 있으나, 본 연구에서는 동자개의 성장에 따른 외부형태 변화를 상대성장과 관련하여 상세하게 검토하고 발육단계를 구분하고자 하였으며, 그 기준은 Kendall *et al.* (1984)에 따랐다.

난발생의 관찰은 실험화상기 (Video Presenter, SVP-4200)를 사용하여 시간경과에 따른 난내 발생과정을 사진 촬영하였고, 또한 입체현미경 (Olympus, SZH-ILLD)을 통하여 발생단계를 관찰하였다. 난발생 단계의 구분은 관찰한 난의 90% 이상이 진행된 상태를 기준으로 하였다.

자·치어의 외부형태변화에 대해서는 입체현미경하에서 관찰 및 스케치하였고, 부화 후 전장 17 mm 전후까

지는 매일 8~10마리씩, 그 이후에는 3~5일 간격으로 5~20마리의 표본을 취하여 5~10% 포르말데하이드 용액으로 고정한 후, 외부형태의 관찰과 어체의 각 부분장을 측정하였다.

측정한 각 부분장은 자어기에는 체장 (body length; BL), 체고 (body depth; BD), 두장 (head length; HD), 안경 (eye diameter; ED), 상악장 (upper jaw length; UJL), 전향문장 (pre-anal fin length; PAL) 등 6개의 형질을 측정하였고, 등지느러미가 형성되는 치어기 이후에는 등지느러미 기부와 주둥이 사이의 길이 (pre-dorsal fin length; PDL)의 형질을 추가하여 측정하였다 (Fig. 1).

결 과

1. 난발생 및 부화

인공수정시킨 성숙난은 점착성을 가지는 침성부착난으로 평균 난경은 2.04 ± 0.07 mm ($n = 100$)로, 백과 변(1992)의 2.2~2.4 mm보다 약간 작았으며 강과 이(1996)의 1.4 ± 0.07 mm ($n = 10$)보다 1 mm 정도 크다. 또한 난은 등황색을 띠며 위관강은 넓다. 난황은 불투명하고 유구가 없다. 기질에 따라 부착성이 다르며, 부착된 난의 모양은 약간의 타원 또는 부착기질의 종류에 따라서 불규칙한 형태를 나타낸다.

수온 $24.3 \sim 25.4^\circ\text{C}$ 범위에서 수정에서 부화까지의 소요시간 및 난내 발생과정에 대하여 관찰한 결과 (Table 1, Fig. 2), 수정 직후의 난은 점착성이 강해서 수조 바닥의 슬라이드 글라스 및 벽면에 달라붙으며 표면에는 불규칙한 물결무늬가 있다 (Fig. 2A). 수정 후 1시간이 경과하면 배반 (blastodisc)이 형성되고 (Fig. 2B), 수정 후 1시간 30분에는 제1난황이 일어나서 2세포기 (Fig. 2C)가 되며, 이후에 약 25분 간격으로 난황이 계속되어 1시간 55분에는 4세포기 (Fig. 2D), 2시간 20분에는 8세포기 (Fig. 2E), 2시간 45분에는 16세포기 (Fig. 2F)에 도달한다. 수정 후 약 3시간 10분이 지난 후에 난의 대부분은 32세포기 (Fig. 2G)가 되고, 수정 후 약 4시간 30분 후에는 상실기 (Fig. 2H)에 이른다. 이때, 난막과 난황이 서로 분리되어 불규칙한 회전을 하는 것을 관찰할 수 있다. 수정 후 약 9시간 후에는 포배기에 이르러 배환 (germ ring)이 형성되고, 배반엽 (blastodermal cap)은 난황표면을 서서히 덮기 시작한다 (Fig. 2I). 낭배기에 이르는 수정 후 13시간 후에는 배반이 난황의 약 1/2 이상 덮는다 (Fig. 2J). 19시간이 경과한 후에는 배체 (embryonic body)가 형성되기 시작하여 수정난은 더욱 불투명해져서 외부로부터 육안관찰이 힘들다 (Fig. 2K). 수정 후 22

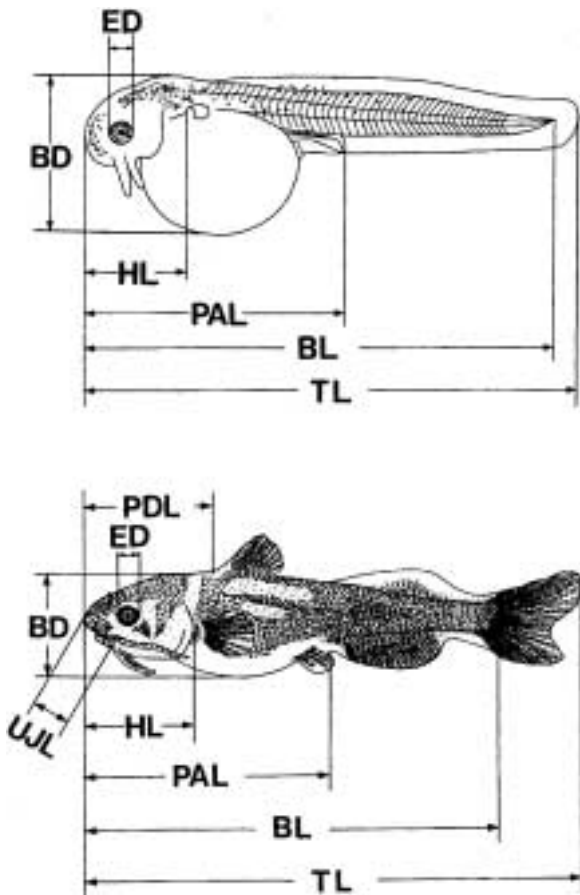


Fig. 1. Body parts of larval (upper) and juvenile (lower) Korean bullhead measured in this study. TL, total length; BL, body length; BD, body depth at the portion of pectoral fin; PAL, pre-anal fin length; PDL, pre-dorsal fin length; HL, head length; ED, eye diameter; UJL, upper jaw length

시간 후에는 원구(blastopore)가 닫히고 24시간 경과 후에는 배체에 4개의 체절이 확인되었다(Fig. 2L). 수정 후 37시간 후에는 원시안포와 이포가 형성되고 심장박동이 시작된다. 이때쯤 배체는 꼬리를 꿈틀대며 운동하기 시작한다(Fig. 2M). 수정 후 42시간이 경과하면, 심장박동은 분당 134회로 활발하며, 두부에 굴곡이 생긴다. 또한, 심장이 접하는 난황 내부에 혈액이 순환하는 것을 관찰할 수 있다. 수정 후 46시간 후에는 11개의 체절이 형성되고, 배체에도 혈액이 시계방향으로 순환하며, 척색(notochord)이 확인된다(Fig. 2N). 수정 후 48시간에는 눈아래에 한 쌍의 턱수염(barbel) 원기가 형성되고 막지느러미가 분화한다. 이때, 난의 일부는 꼬리가 난황과 분리되고, 배체도 난막과 완전히 분리되어 불규칙한 운동을 한다(Fig. 2O). 수정 후 52시간에는 흑색소포(melanopore)가 두부에 형성되고, 일부개체는 안구에도 흑색소포가 착색된다(Fig. 2P). 혈액은 꼬리부분까지 활발히 순

환하고, 심장 박동에 의해 난황 속으로 빨리 들어가는 것을 관찰할 수 있다. 수정 후 56시간에는 몸을 좌우로 심하게 비틀며 부화하는 개체가 처음으로 발견되고, 58시간에는 수정난의 약 1/3이 부화하며, 66시간에는 부화가 종료되었다.

2. 자·치어의 외부형태 변화

부화 직후의 자어(Fig. 3A)는 전장 4.26~5.51 mm (4.92±0.33 mm)로 근절수는 15~17+23~26 = 38~43이다. 항문은 몸 중앙부에 위치하여 있고, 타원형의 난황 윗부분에는 소화관이 형성되기 시작한다. 각 체절에는 흑색소포가 출현하기 시작하고, 머리부분에 형성된 흑색소포는 점 상태에서 가지 상태의 모양을 갖추기 시작한다. 몸통은 막지느러미로 둘러싸여 있고 꼬리는 일직선 상태로 뻗어 있다. 또한, 위턱과 아래턱에 각각 한 쌍의 수염이 형성되어 있으며, 입과 항문은 아직 열려있지 않

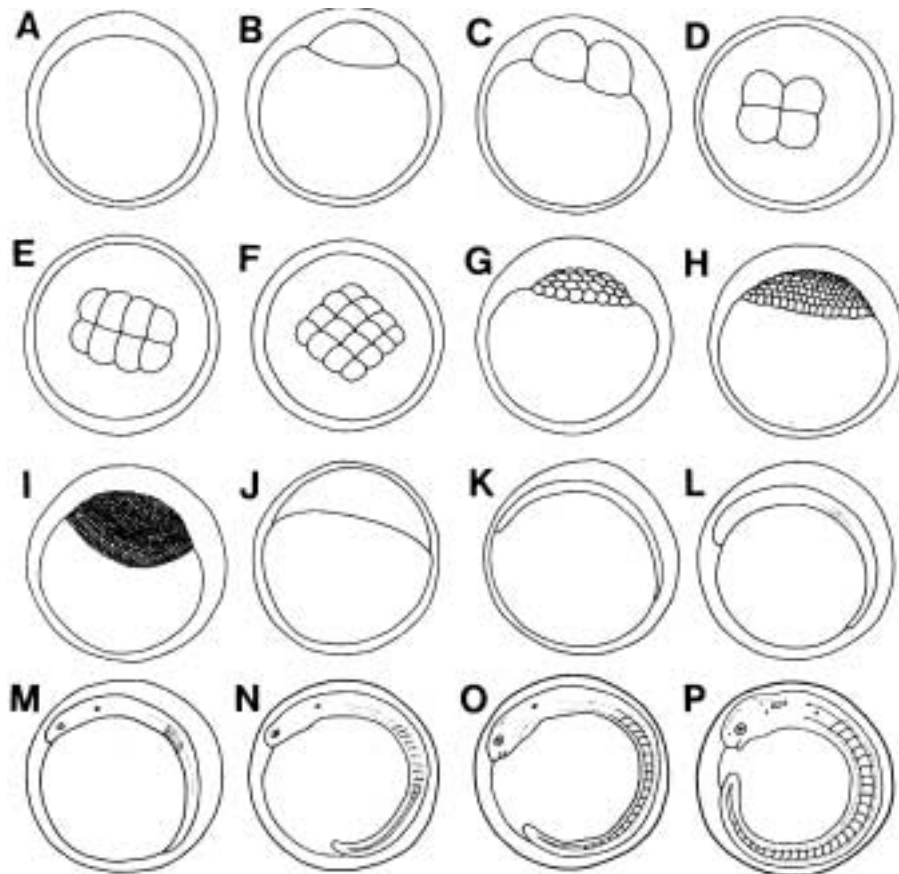


Fig. 2. Embryonic development of the Korean bullhead (24.3~25.4°C). A, Fertilized egg; B, Elevation of blastodisc (1:00 after fertilization); C, 2-celled stage (1:30); D, 4-celled stage (1:55); E, 8-celled stage (2:20); F, 16-celled stage (2:45); G, 32-celled stage (3:10); H, Morula stage (4:30); I, Blastula stage, germ ring appeared (9:00); J, Gastrula stage, blastodermal cup 1/2 of yolk-sac (13:00); K, Formation of embryonic body (19:00); L, Formation of 4-myomeres (24:00); M, Heart beat begin, formation of optic vesicles (37:00); N, 11-myomeres (46:00); O, formation of barbels on the upper jaw (48:00); P, Melanopore appear (52:00)

Table 1. Embryonic development of the Korean Bullhead (24.3~25.4°C)

Time (hr:min)	Stages	Descriptions
	A	Fertilized egg
1:00	B	Elevation of blastodisc
1:30	C	2-celled stage
1:55	D	4-celled stage
2:20	E	8-celled stage
2:45	F	16-celled stage
3:10	G	32-celled stage
4:30	H	Morula stage
9:00	I	Blastula stage, germ ring appeared
13:00	J	Gastrula stage, blastodermal cap 1/2 of yolk-sac
19:00	K	Formation of embryonic body
22:00		Blastopore closed
24:00	L	Formation of 4-myomeres
37:00	M	Heart beat begin, Formation of optic vesicles
42:00		Heart beat (134/min)
46:00	N	11-myomeres
48:00	O	Formation of barbels on the upper jaw
52:00	P	Melanopore appear
56:00		Hatching began
58:00		1/3 hatching
66:00		Hatching completed

* Stage A to P corresponds to those in Fig. 2.

고 가슴지느러미 원기가 출현한다. 부화한 개체간에 전장의 차이가 비교적 크며, 각 개체는 수조 바닥을 활발히 유영한다.

부화 후 1일 (Fig. 3B)에는 전장 5.39~6.46 mm (5.84 ± 0.16 mm)의 범위를 보이며, 일부 개체는 입이 열려 있으나 아직 섭이를 하지 않는다. 두부에는 외부로 돌출된 비공이 형성되기 시작하고, 항문을 따라서 소화관이 연장되며, 항문으로 연장된 막지느러미는 균열이 생겨서 약간 찢어진다. 두부의 등쪽에는 흑색소포가 무리를 지어 형성되고, 막지느러미에도 흑색소포가 늘어난다.

부화 후 2일 (Fig. 3C)에는 전장 5.95~7.20 mm (6.63 ± 0.28 mm)의 범위를 보인다. 눈은 흑색소포로 완전히 착색되었고 아래턱에 3번째 수염의 원기 한 쌍이 형성되며, 난황은 타원형 모양으로 찌그러진다. 두부의 굴곡부는 완전해지고 소화관은 두껍고 불투명하게 발달한다. 척색 말단이 치켜 올라가기 시작하고 항문이 열린 개체가 처음으로 발견되며, 난황과 아래턱이 분리되면서 입이 열린다. 비공은 더욱 발달하여 두 개의 구멍으로 갈라진다. 이 시기까지의 자어는 난황을 통해 내부영양을 하는 전기자어로서 난황의 영양물질은 어체의 활동에너지 뿐만 아니라 소화관과 같은 섭식에 필요한 내부기관을 형성하는데 소모된다.

부화 후 3일에는 전장 범위 6.91~7.82 mm (7.33 ± 0.21 mm)로 나타났다. 난황은 매우 찌그러져 땅콩모양을 한 것도 발견된다. “-”자형이던 소화관은 항문 근처에서 “-”자형으로 꺾이는 것이 뚜렷이 확인되며, 척색 말단은 두 갈래로 갈라지고 꼬리지느러미 연조는 약 5개가 형성된다. 가슴지느러미는 연조가 형성되지 않은 채로 존재하며, 몸체는 채색이 점점 짙어지고 흑색소포는 난황의 아랫부분을 제외한 몸체 전반에 걸쳐 골고루 분포한다. 난황은 조금 남아 있으나 대부분의 개체는 섭이를 개시하여 후기자어 단계에 이른다.

부화 후 4일 (Fig. 3-D)에는 전장 범위 7.47~9.05 mm (8.41 ± 0.45 mm)로 성장한다. 꼬리지느러미 연조는 7~8개, 가슴지느러미 연조는 5개가 관찰되며 뒷지느러미에도 10~12개의 연조가 형성되기 시작한다. 턱수염에도 흑색소포가 착색된다. 항문에는 소화된 알테미아 유생이나 물벼룩의 분이 배설되는 것을 관찰할 수 있고, 아가미 덮개가 완성되며 눈 앞쪽에 4번째 수염의 원기가 형성된다.

부화 후 6일 (Fig. 3-E)에는 전장 9.21~11.07 mm (10.09 ± 0.52 mm)의 범위를 보이며, 꼬리지느러미의 각 연조에 마디가 형성되고 굽어진다. 뒷지느러미 연조는 10~14개, 등지느러미와 가슴지느러미의 연조는 각각 6, 7개이다. 등지느러미에 연장된 막지느러미는 갈라지기 시작한다.

부화 후 8일 (Fig. 3-F)에는 전장 9.89~12.52 mm (10.42 ± 0.72 mm)의 범위로 개체간 성장 차이가 두드러진다. 가슴지느러미와 등지느러미에는 굽은 가시 (spine)가 돋기 시작한다. 각 지느러미의 연조는 계속해서 발달하고 제2등지느러미는 제1등지느러미와 분리된다. 또한, 각 지느러미의 연조에는 흑색소포가 착색되어 불투명하게 된다. 두부의 흑색소포는 점점 진해져서 띠를 이루고 별 모양을 한다. 무색의 입술이 형성되고 두개골 윤곽이 뚜렷해진다.

부화 후 10일 (Fig. 3-G)에는 전장범위 10.66~16.06 mm (12.70 ± 1.99 mm)을 나타낸다. 배지느러미가 형성되며 3개의 연조를 가진다. 몸체에는 흑색소포가 진하게 채색되어 체측에는 3줄의 가로띠가 형성된다. 두부에는 흑색소포가 무리를 이루며, 세로띠모양을 하고 있다. 꼬리지느러미는 두 갈래로 갈라지고 척색말단은 거의 불투명하게 된다.

부화 후 12일 (Fig. 3-H)에는 14.39~16.47 mm (15.57 ± 0.522 mm)으로 성장한다. 배지느러미가 형성되고, 항문이 그 뒤에 위치한다. 가슴지느러미의 극조에는 톱니모양의 날 (거치극 serrated spine)이 형성된다. 두부에는 수염이 총 4쌍이 있으며, 각 수염에는 흑색소포가 착색

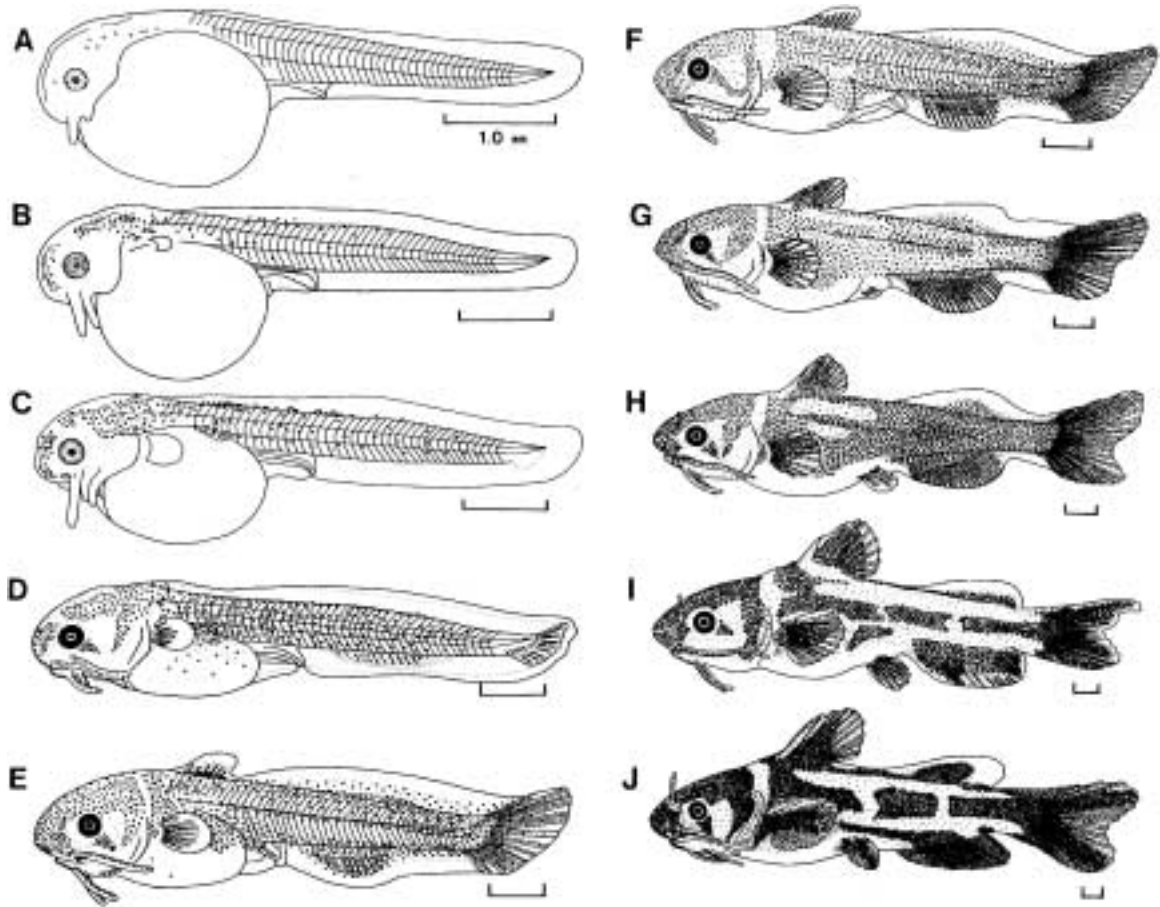


Fig. 3. Development of the larval and juvenile Korean bullhead reared in the laboratory (24.0~26.0°C). A, Newly hatched larvae, 4.92 mm TL; B, H-1 (1-day-old) pre-larvae, 5.84 mm TL; C, H-2 larvae, 6.63 mm TL; D, H-4 larvae, 8.41 mm TL; E, H-6 larvae, 10.09 mm TL; F, H-8 larvae, 10.42 mm TL; G, H-10 larvae, 12.70 mm TL; H, H-12 larvae, 15.57 mm TL; I, H-15 larvae, 22.17 mm TL; J, H-23 larvae, 26.05 mm TL;

되고 길어진다.

부화 후 15일 (Fig. 3-I)에는 전장 20.61~23.52 mm (22.17±0.639 mm)의 범위를 보이며, 각 지느러미의 기초수는 가슴지느러미 9개, 배지느러미 6개, 등지느러미 8개 그리고 꼬리지느러미가 19~20개 등으로 정수가 되어 치어기에 이른다. 몸체의 체색은 진하고, 무늬가 선명하게 난다.

부화 후 23일 (Fig. 3-J)에는 전장 25.12~27.49 mm (26.05±0.67 mm)의 범위를 보이며, 이때쯤 소화관은 2회전의 굴곡이 일어난다. 형태는 성체와 유사하나 가슴지느러미와 등지느러미 거치극의 톱니 수는 각각 6, 7개로 성체에 비하여 아직 적다.

이후 부화 후 약 60일 경에는 전장 35.4~60.4 mm (53.2±2.62mm)의 범위로 개체간 성장 차이가 심하게 나타났으며, 일부 개체는 공식에 의해 꼬리가 잘린 것이 발견되었다. 또한, 수조내에서 동자개의 행동을 관찰한

결과, 몇 개의 집단을 이루어 유영을 하며, 먹이 공급시 수조의 반대편으로 떼를 지어 몰려갔다 잠시 후에 조심스럽게 다가와 먹이를 먹는 것이 관찰된다.

3. 상대성장

어체 전장에 대한 각 부분장의 상대성장을 Figs. 4~7에 나타내었다. 체장 (BL)에 있어서는 성장단계별로 4개의 굴곡점이 인지되었고, 각 굴곡점간 상대성장식은 다음과 같다.

$$BL_1 = 1.0652TL^{0.9315} \quad (R = 0.9969)$$

$$BL_2 = 1.3328TL^{0.8135} \quad (R = 0.9956)$$

$$BL_3 = 0.6627TL^{1.0650} \quad (R = 0.9939)$$

$$BL_4 = 1.3851TL^{0.8707} \quad (R = 0.9286)$$

체장은 부화직후부터 후기자어기에 이르는 17 mm 전후까지 열성장 (negative growth)을 보이는데 특히 척색

말단이 위쪽으로 치켜 올라가는 전장 7~8 mm 사이에 두드러지며, 이후 치어기인 전장 17~32 mm 사이에 우성장 (positive growth)으로 바뀌는데 이때, 꼬리지느러미 연조는 정수에 달한다. 전장 32 mm 이후의 유어기에 들어서 체장은 다시 열성장으로 바뀌는데, 이는 개체간 공식의 영향으로 꼬리지느러미가 손상되었기 때문으로 생각된다.

전장에 대한 등지느러미의 기부와 주둥이 사이의 길이 (PDL)의 상대성장은 성장단계별로 3개의 굴곡점이 나타나며, 각 굴곡점간 상대성장식은 다음과 같다.

$$PDL_2 = 0.2362TL^{1.0778} \quad (R = 0.9610)$$

$$PDL_3 = 0.1539TL^{1.1973} \quad (R = 0.9485)$$

$$PDL_4 = 0.3817TL^{0.9369} \quad (R = 0.7024)$$

전장 7 mm 전후에 형성되는 등지느러미는 후기자어기 단계까지 등성장 (isometry)을 보이나, 내부기관의 발달과 각 지느러미의 기초수가 정수에 이르는 17 mm 전후의 치어기부터는 우성장으로 전환한다. 이후 근육이 발달하는 전장 30 mm 전후의 유어기부터는 열성장으로 바뀐다.

상악장 (UJL)은 성장단계별로 4개의 굴곡점이 나타나며, 각 굴곡점간 상대성장식은 다음과 같다.

$$UJL_1 = 0.0038TL^{2.5587} \quad (R = 0.8740)$$

$$UJL_2 = 0.0587TL^{1.1656} \quad (R = 0.8413)$$

$$UJL_3 = 0.3508TL^{0.4919} \quad (R = 0.8009)$$

$$UJL_4 = 0.0802TL^{0.8971} \quad (R = 0.6446)$$

그림 4에 나타난 바와 같이 자어단계에는 우성장을 보이다가 치어기부터는 열성장으로 전환된다. 이것은 먹이를 포식하기 시작하는 자어단계에는 섭이기구인 입의 발달이 두드러져 상악장의 성장이 우성장으로 나타나지만 치어기 이후부터는 입의 성장에 비해 몸통부분이나 꼬리부분의 성장이 현저하여 상대적으로 열성장을 보이기 때문이다.

체고 (BD)는 성장단계별로 4개의 굴곡점이 나타나며, 각 굴곡점 간 상대성장식은 다음과 같이 구하였다.

$$BD_1 = 0.2986TL^{0.9663} \quad (R = 0.8674)$$

$$BD_2 = 0.2119TL^{0.9978} \quad (R = 0.9049)$$

$$BD_3 = 0.5449TL^{0.7245} \quad (R = 0.8750)$$

$$BD_4 = 0.1229TL^{1.1149} \quad (R = 0.8120)$$

그림 5에 나타난 바와 같이 전기자어기에는 난황의 흡수로 인해 열성장을 보이다가 난황흡수가 종료된 후기자어기부터는 등성장으로 바뀐다. 이 시기에 동자개는 먹이 섭식활동이 더욱 활발하여 소화관 내에 먹이가 항상 차 있다. 그러나, 유어기에는 우성장으로 바뀌는데 이 시기에는 먹이 섭식 활동이 활발하다.

안경 (ED)은 자어기에는 우성장, 치어기 이후에는 열성장을 보인다. 각 굴곡점간 상대성장식은 다음과 같다.

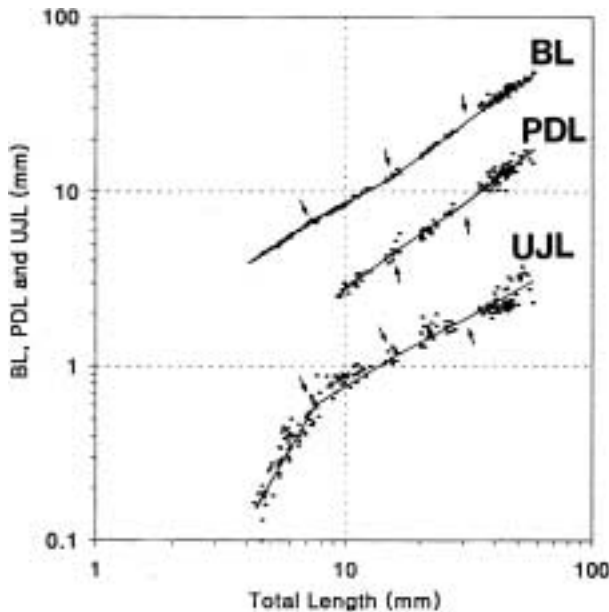


Fig. 4. Relative growth of body length, pre dorsal-length and upper jaw length against total length in the Korean bullhead. Arrows show growth inflective points.

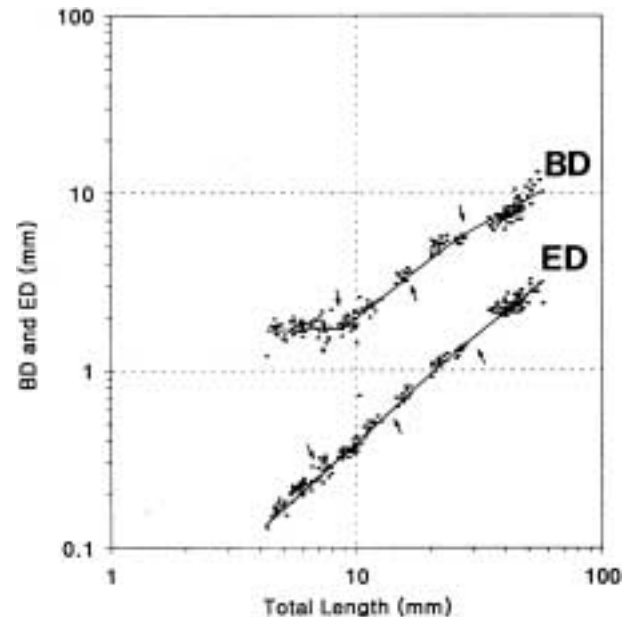


Fig. 5. Relative growth of body depth and eye diameter against total length in the Korean bullhead. Arrows show growth inflective points.

$$ED_1 = 0.0305TL^{1.1058} \quad (R = 0.9292)$$

$$ED_2 = 0.0203TL^{1.3023} \quad (R = 0.9554)$$

$$ED_3 = 0.0781TL^{0.8660} \quad (R = 0.8901)$$

$$ED_4 = 0.2266TL^{0.6250} \quad (R = 0.6523)$$

$$PAL_1 = 0.8016TL^{0.7485} \quad (R = 0.9697)$$

$$PAL_2 = 0.4698TL^{1.0012} \quad (R = 0.9234)$$

$$PAL_3 = 0.3952TL^{1.0613} \quad (R = 0.9646)$$

$$PAL_4 = 0.7888TL^{0.8664} \quad (R = 0.7171)$$

항문전장 (PAL)은 전기자어기에는 열성장, 후기자어에는 등성장, 그리고 치어기에는 우성장을 보이다가, 유어기에 들어서서는 다시 열성장으로 전환되었다. 각 굴곡점의 상대성장식은 다음과 같다.

두장 (HL)은 전기자어기에는 열성장을 보이다가 후기자어기에 일시적으로 우성장을 보인다. 그러나 치어기부터는 다시 열성장으로 전환된다. 각 굴곡점간 상대성장식은 다음과 같다.

$$HL_1 = 0.4212TL^{0.6151} \quad (R = 0.8447)$$

$$HL_2 = 0.2007TL^{1.0450} \quad (R = 0.9593)$$

$$HL_3 = 0.9279TL^{0.5475} \quad (R = 0.8543)$$

$$HL_4 = 0.5980TL^{0.7484} \quad (R = 0.7305)$$

전장에 따른 어체 각 부분의 성장식을 그림 7에 요약하였다. 그 결과, 형태변화의 특징으로 구분한 성장단계 즉, 부화 직후부터 전장 7 mm전후(전기자어), 전장 7 mm~전장 17 mm전후(후기자어), 전장 17 mm~전장 32 mm 전후(치어), 그리고 전장 32 mm 이후(유어)의 단계가 좀 더 명확해졌다.

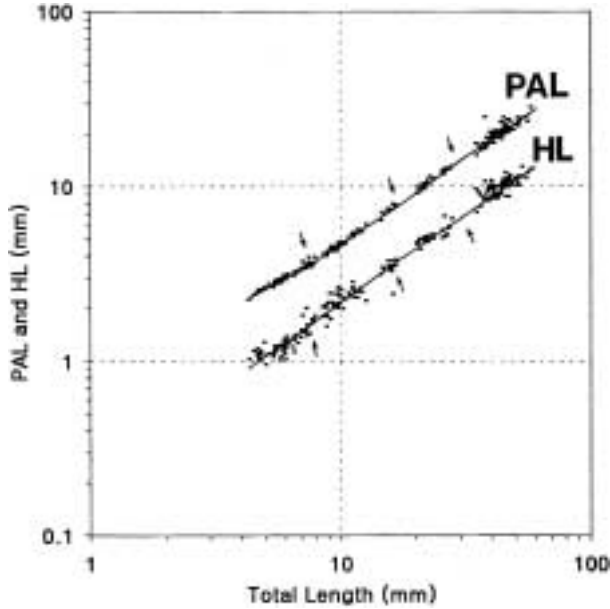


Fig. 6. Relative growth of pre-anal length and head length against total length in the Korean bullhead. Arrows show growth inflective points.

고찰

동자개과 Bagridae 어류의 난 (1.86~3.20 mm)은 메기목 어류에 속하는 메기과 Siluridae (1.48~2.25 mm), Claridae과 (1.03~1.90 mm), Pangariidae과 (0.92~0.99 mm) 보다 큰 것으로 알려져 있으며 (Wang *et al.*, 1992), 본 연구의 난발생에 사용한 동자개의 난경은 2.04 ± 0.07 mm (n = 100)로 Wang *et al.* (1992)의 1.86~2.26

BL	>	>>	<	>>
BD	≥	=	>>>	<<
HL	>>>	≤	>>>	>>>
ED	<<	<<<	>>	>>>
UJL	<<<	<<	>>>	>>
PAL	>>>	=	<	>>
PDL		<	<<	>

Fig. 7. The relative growth of inflective points in several body parts against total length of the larval, juvenile and young stage of the Korean bullhead. Refer to Figs. 4~6 for BL, BD, HL, ED, UJL, PAL, PDL. <, positive growth; >, negative growth; =, 0.98~1.02 in relative growth coefficient; ≥, 0.95~0.98; >, 0.90~0.95; >>, 0.80~0.90; >>>, less than 0.79; ≤, 1.02~1.05; <, 1.05~1.10; <<, 1.10~1.20; <<<, more than 1.21.

mm 범위에 포함되며, 강과 이(1996)에 의해 보고된 난경 1.4 mm (n = 10)보다 컸다. 또한, 동일속의 다른 종과 비교하면 *P. ichikawai* (1.6~2.1 mm)보다는 약간 크고, *P. tokiensis* (약 2.3 mm)와 *P. aurantiacus* (2.4~2.7 mm) 보다는 약간 작으며 (Takeshita and Kimura, 1994; Watanabe, 1994b), 동자개는 난막 표면이 불규칙한 물결 무늬이나 일본산인 *P. aurantiacus*는 방사상 무늬로서 (Takeshita and Kimura, 1994) 두 종간에 차이가 있었다.

본 연구에서는 수정 후 1시간만에 배반이 형성되었는데, 강과 이(1996)에서는 30분(수온 25°C)만에 배반이 형성되어 차이가 있었다. 또한, 수정 후 4시간 30분에 상실기, 9시간에 포배기, 13시간에 낭배기에 도달하여, *P. ichikawai* (수온 18~23°C)의 6시간에 상실기, 12시간에 포배기, 17시간에 낭배기 (Takeshita and Kimura, 1994)에 비하여 빠르게 발생이 진행되었다. 수정 후 56시간 후부터 부화가 시작되어 (53시간, 강과 이, 1996) 66시간에 부화가 완료되어 약 10시간이 소요됨을 알 수 있었다.

부화 직후 자어의 전장은 4.3~5.5 mm로 Wang *et al.* (1992)의 4.8~5.5 mm, *P. aurantiacus* (5.3~5.5 mm)와 거의 일치하고, *P. ichikawai* (4.1~5.1 mm)보다 약간 크고 *P. tokiensis* (약 6.2 mm) 보다 약간 작다 (Watanabe, 1994b). 부화 후 3일부터 후기자어가 시작되어 난황이 흡수되고, 소화관이 “ㄱ”형으로 꺾이면서 소화능력이 생겨서 본격적인 섭이를 개시하는데, *P. ichikawai*의 4일 (21~24°C), *P. tokiensis*의 6~7일 (27°C), *P. aurantiacus*의 7일 (18~23°C), 종어 *Leiocassis longirostris*의 5~6일 (21~27°C), *Mystus macropterus*의 20일 (26~29°C) 보다 빠르게 나타났다고 (Wang *et al.*, 1992; Watanabe, 1994b). 부화 후 6일 (Fig. 3E)에 비공 앞에 한 쌍의 수염이 형성되었는데, *P. ichikawai*는 부화 후 4일만에 형성되어 (Watanabe, 1994b), 메기목 어류의 일반적인 특징으로 알려져 있는 수염을 본 종의 난 발생과정에서도 관찰할 수 있었다. 등지느러미와 가슴지느러미의 거치극은 부화 8일 후에 관찰되었는데, *P. ichikawai*는 부화 후 14일 (Watanabe, 1994b)만에 나타나서 큰 차이가 있었다. 부화 10일 후에 꼬리지느러미의 뒤쪽 중앙부가 두 갈래로 갈라지기 시작하여 국내에 서식하는 동일속의 다른 종과 구분되는데, 자연상태에서는 6일 후에 갈라졌고 (백과 변, 1992), *P. ichikawai*은 11일 또는 14일 후에 갈라져서 서로 다르게 나타났다고 (Takeshita and Kimura, 1994; Watanabe, 1994b). 부화 12일 후에는 극조에 톱니 모양의 날이 형성되는데, *P. ichikawai*의 14일 (Watanabe, 1994b)보다 빠르게 나타났다고. 15일 후에는 각 지느

러미의 기초수가 성어와 유사해지며 치어기에 도달함을 알 수 있었고, 부화 21일 후에는 형태적으로 완전한 성체모양으로 형성되지만 (강과 이, 1996), 소화관의 굴곡이나 극조의 톱니수 형성은 부화 23일 후에 형성되어 치어기에 이르러서야 형성됨을 알 수 있었다. 전장 약 26 mm에 외부형태가 성체와 거의 유사한 모양을 하고 운동능력 또한 매우 활발한 것으로 나타났는데, 이러한 특징은 자연상태에서 자·치어기에 포식자의 공격에 대한 도피수단과 먹이 포식의 효율을 높이기 위한 종 특유의 생존 전략적 차원에서 빠른 기간 내에 각 기관이 발달하는 것으로 생각할 수 있다.

본 실험결과 동자개는 발생 초기인 약 60일 동안에 매우 빠른 성장을 하는 것으로 나타났다. 이는 일반적으로 담수어류가 수온이 높은 하계에 성장이 빠르다고 (Jobling, 1994) 보고된 연구결과와 일치하는 것으로 동자개도 먹이와 수온 조건이 적합한 여름철에 최대한의 성장률을 보이는 것으로 생각된다.

한편, 자어기에 있어서 이들 전장에 대한 어체 각 부분장 중에서 머리부분과 관계된 형질 즉, 안경과 상악장의 상대성장은 초기에 우성장을 보이고, 어체의 몸통을 이루는 소화기관 및 내장, 섭식기관의 발달이 두드러지는 것이 확인되었다. 치어기에 이르러서는 이러한 형질은 전부 다 열성장 및 등성장으로 변화하고, 몸통 및 운동과 관련된 형질이 우성장으로 나타나 이 시기에 동자개는 운동능력의 발달이 뚜렷한 것으로 생각된다. 여기서, 이러한 상대성장의 변화점을 외부형태 변화와 비교하여 자어기부터 유어기까지의 3단계의 발육단계를 구분하여 설명하면 다음과 같다.

① 자어기 (17 mmTL >) : 이 범위내의 자어는 전기자어 (pre-larval stage)와 후기자어 (post-larval stage) 단계로 구분된다. 전기자어는 부화 직후부터 난황을 소비하며 내부영양을 하는 전장 약 7 mm까지 (일령 0~3)이며, 후기자어는 섭식을 시작해서부터 각 지느러미가 완성되는 전장 약 17 mm까지를 후기자어기 (post-larval stage, 일령 4~13)로 나누었다. 후기자어기에는 척색말단이 치켜 올라가기 시작하여 현저한 외부형태의 변화가 인정되었고, 운동능력 및 섭식 활동이 활발하다.

② 치어기 (17~32 mmTL) : 지느러미, 턱수염, 몸체의 무늬형성 등이 완료된다. 개체간 성장차이가 심해지고 크기가 작은 개체는 큰 개체에게 꼬리를 물려서 잘려 있는 것이 관찰되고, 수조의 차광막 아래에서 떼를 지어 유영한다. 전장에 대한 각 부분장의 상대성장은 제1등지느러미와 주둥이 사이의 길이, 제2등지느러미와 주둥이 사이의 길이 그리고 체장 등이 우성장, 그리고 체고, 두장, 안경 그리고 윗턱장 등이 열성장으로 나타나서 대

조를 보였다. 이러한 결과는, 머리에 관련된 형질의 열성장, 그리고 운동능력에 관련된 몸체부분은 우성장으로 정리될 수 있는데, 이러한 특징은 치어기의 동자개가 내부영양에서 외부영양으로 전환되어 어체 유지 및 서식 환경에 대한 적응 양상이라는 견해 (Kamler, 1992)와 관련이 있을 것으로 생각된다.

③ 유어기 (32 mmTL<) : 각 지느러미 연조는 정수에 달하고, 외부형태와 무늬는 성체와 유사하다. 이 시기에 동자개는 체고를 제외한 어체 각부분의 상대성장이 전부 열성장을 보인다. 체고에 있어서 전기자어기에 난황의 소비로 인해 열성장을 보이다가 후기자어와 치어기를 거치면서 섭식 능력이 활발해져서 다시 우성장으로 전환되며, 그 외의 다른 부분장의 상대성장은 열성장으로 된다. 이러한 변화는 자연상태와는 달리 풍부한 먹이 공급으로 인해 발생하는 현상으로 보이며, 자연상태에서는 이와 다를 것으로 생각된다.

이상과 같이 동자개의 발생학적 특징을 관찰한 결과, 수정난은 난경 2.04 ± 0.07 mm (n = 100)의 비교적 큰 구형의 분리되는 침성부착난으로서 수조의 바닥 및 기질에 강하게 부착한다. 수정 후 66시간 (적산수온 $1,520^{\circ}\text{C}$)에서 부화되었고, 부화된 자어는 전장 4.92 mm로서 난황을 통해 내부영양을 한다 (전기자어). 자어는 전장 7 mm에 이르는 부화 후 3일이 지나면 입이 열리고, 항문이 형성되며, 내부기관이 발달해서 먹이를 활발히 섭식하여 외부영양단계를 시작한다 (후기자어). 이때, 전장에 대한 어체 각부분의 부분장 중에서 머리부분에 관련된 형질의 positive 성장이 두드러지는 특징이 있다. 부화후 13일에는 전장 17 mm 전후가 되며, 모든 지느러미가 형성되고 먹이 섭식 활동이 더욱 활발하여 치어기에 이르며, 운동능력에 관련된 형질의 positive 성장이 뚜렷하다. 부화후 30일 후에 치어는 전장 32 mm에 이르며 외부형태가 성체와 거의 유사하게 되고, 각 지느러미 연조는 정수에 달하는 유어기에 이른다.

적 요

사육 조건하에서 동자개 *Pseudobagrus fulvidraco*의 발육에 따른 형태 변화 및 상대성장에 대해 검토하여 발육단계를 구분한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 수정난은 난경 2.04 ± 0.07 mm (n = 100)의 비교적 큰 구형의 분리되는 침성부착난으로서 수조의 바닥 및 기질에 강하게 부착한다.
2. 부화자어는 전장 약 4.92 ± 0.33 mm로, 부화 후 1일에 입이 열리고, 부화 2일후에는 항문이 열리고, 부화 후 3일에 섭이를 시작하여 후기자어기에, 부화 후 30일경에

전장 약 32 mm에 유어기에 이른다.

3. 전장에 대한 각 부위의 상대성장에 굴곡점은 전장 7~8 mm, 17~32 mm, 32 mm 전후에 집중적으로 나타났다.

4. 외부형태의 변화 및 상대성장의 굴곡점이 나타나는 어체 크기 등을 종합적으로 고려하여 자어기에서 유어기까지의 발육단계를 구분하면, 자어기는 전장 17 mm 이하, 치어기는 17~32 mm, 유어기는 32 mm 이상으로 사료된다. 상대성장의 측정결과 전기자어기에는 머리부분에 관련된 형질, 후기자어기 이후에는 운동능력에 관련된 형질의 우성장이 뚜렷하였다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 지정 인하대학교 서해연안환경연구센터에서 지원을 받아 수행한 것입니다. 또한, 동자개 실험어를 제공해 준 국립수산물진흥원 양평내수면연구소 관계자 여러분께 감사드립니다.

인 용 문 헌

Cheng, Q. and B. Zheng. 1987. Systematic Synopsis of Chinese Fishes. Science Press, Beijing, 1458 pp. (in Chinese)

Hosoya, K. 2000. Bagridae. In: Nakabo, T. (ed.), Fishes of Japan with Pictorial Keys to the Species (2nd ed.). Tokai Univ. Press, Tokyo, p. 278. (in Japanese)

Jobling, M. 1994. Fish Biogenetics (2nd ed.). Chapman & Hall, London, 309 pp.

Kamler, E. 1992. Early Life History of Fish. In: An energetics approach (1st ed.). Chapman & Hall, London, 267 pp.

Kendall, A.W. Jr., E.H. Ahlstrom and H.G. Moser. 1984. Early life history stages of fishes and their characters. In: Moser, H.G. et al. (eds.). Ontogeny and Systematics of Fishes. Am. Soc. Ichthyol. Herpetol., Spec. Publ., 1 : 11~22, Allen Press, Lawrence, KS.

Lee, C.L. and I.S. Kim. 1990. A taxonomic revision of the family Bagridae (Pisces, Siluriformes) from Korea, Korean J. Ichthyol., 2(2) : 117~137.

Nelson, J.S. 1994. Fishes of the World (3rd ed.). John Wiley, Inc., New York, 600 pp.

Okada, Y. and R. Seiishi. 1937. Morphological and ecological study on the larve and juveniles of the freshwater fishes of Japan (9). Suisan Kenkyu-shi, 32 : 620~623. (in Japanese)

Park I.S. and C.L. Lee. 1996. Cytogenetic analysis of bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco* (Teleostomi : Siluriformes), Korean J. Ichthyol., 8(2) : 10~15.

- Takeshida, N. and S. Kimura. 1994. Eggs, larvae and juveniles of the bagrid fish, *Pseudobagrus aurantiacus*, from the Chikugo river in Kyushu Island, Japan. Japan. J. Ichthyol., 40(4) : 504~508.
- Uchida, K. 1939. Bagridae. In: The Fishes of Tyosen (Korea). Part 1. Nematognathi and Eventognathi. Bull. Fish. Exp. St. Government-General of Tyosen (Husan), 6 : 18~55. (in Japanese).
- Wang, D.S., Y.G. Zhang and Q.S. Luo. 1992. Observations on the larval development of *Mystus macropterus* (Bleeker): Bagridae. J. Fish Biol., 40 : 371~379.
- Watanabe, K. 1994a. Growth, maturity and population structure of the bagrid catfish, *Pseudobagrus ichikawai* in the Tagiri river, Mie Prefecture, Japan. Japan. J. Ichthyol., 41(1) : 15~22.
- Watanabe, K. 1994b. Mating behavior and larval development of *Pseudobagrus ichikawai* (Siluriformes: Bagridae). Japan. J. Ichthyol., 41(3) : 243~251.
- Watanabe, K. 1998. Meristic variation in the endangered bagrid catfish, *Pseudobagrus ichikawai*. Ichthyol. Res., 45(1) : 99~104.
- Watanabe, K. and S. Ito. 1999. Population size and distribution of *Pseudobagrus ichikawai*, an endangered bagrid catfish, in the Kawaru river. Ichthyol. Res., 46(1) : 15~30. (in Japanese)
- Watanabe, K. and H. Maeda. 1995. Redescription of two ambiguous Japanese bagrids, *Pseudobagrus aurantiacus* and *P. tokiensis* Döderlein. Japan. J. Ichthyol., 41(4) : 409~420.
- Watanabe, K., S. Mori, M. Nagoshi, S.R. Jeon and Y. Shimizu. 1992. Morphological differences between two bagrid catfishes, *Coreobagrus ichikawai* and *C. brevicaudus*. Japan. J. Ichthyol., 39(2) : 157~162.
- Watanabe, K. and T. Uyeno. 1999. Fossil bagrid catfishes from Japan and their zoogeography, with description of a new species, *Pseudobagrus ikiensis*. Ichthyol. Res., 46(4) : 397~412.
- 강언종 · 이철호, 1996. 동자개 *Pseudobagrus fulvidraco* (Pisces, Bagridae)의 초기생활사. 한어지, 8(1) : 83~89.
- 강언종 · 이철호 · 노용길 · 김이청. 2000. 동자개 (*Pseudobagrus fulvidraco*)의 양식시험. 수진연구보고, 58 : 64~70.
- 구자현 · 강언종 · 이철호. 1995. 동자개 양식시험. 국립수산물진흥원 내수면연구소 사업보고서, pp. 56~61.
- 김익수. 1997. 한국동식물도감. Vol. 37, 동물편 (담수어류). 교 육부, 서울, 629 pp.
- 백윤걸. 1987. 나의 담수어 연구 (5)-동자개의 생활사에 대하여-. 양식개발, 5 : 66~71.
- 백윤걸 · 변화근. 1992. 사라진 자연의 현장, 동자개 (*Pseudobagrus fulvidraco*)의 산란장을 찾아서. 강원도의 희귀자연조사보고서 제5집, 하천 생물상 조사보고. (사)한국자연보호협회 강원지부, 춘천, pp. 105~110.
- 임상구 · 한창희. 1997. 동자개, *Pseudobagrus fulvidraco* (Richardson)의 생식년주기. 한수지, 30(5) : 823~833.
- 전상린. 1984. 한국산 동자개과 및 메기과 어류의 검색과 분포에 관하여. 상명여자대학논문집, 14 : 83~115.
- 정문기. 1977. 한국어도보. 일지사, 서울, 727 pp.
- 최기철 · 전상린 · 김익수 · 손영목. 1990. 원색 한국 담수어도감. 향문사, 서울, 276 pp.
- 川那部浩哉 · 水野信彦. 1989. ギギ科. 日本の淡水魚. 山と溪谷社, 東京, pp. 402~410.
- 韓慶南. 1995. 트라프그의 養殖生物學的研究. 九州大學 博士學位論文, 158 pp.

Received : January 23, 2001

Accetped : March 10, 2001