

멸종위기 어류 돌상어 *Gobiobotia brevibarba*의 난발생 및 초기생활사

고명훈 · 박상용 · 이일로 · 방인철*

(순천향대학교 자연과학대학 해양생명공학과)

Egg Development and Early Life History of the Endangered Species *Gobiobotia brevibarba* (Pisces: Cyprinidae). Ko, Myeong-Hun, Sang-Yong Park, Il-Ro Lee and In-Chul Bang* (Department of Marine Biotechnology, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea)

Early life history of the endangered species *Gobiobotia brevibarba* was investigated to provide baseline data for biological characteristics and restoration. Adult fish were sampled by spoon net capture at Hongcheon-gun, Gangwon-do, Korea, in April 2010. Eggs were obtained after injection of Ovarprim and were artificially fertilized by the dry method in the laboratory. The mature eggs were slightly adhesive and transparent with greyish and average 1.24 ± 0.07 mm in diameter. The hatching of the embryos took place about 120 h after fertilization at a water temperature of 23°C . The newly-hatched larva averaged 5.5 ± 0.29 mm in total length. Four days after hatching, they averaged 7.4 ± 0.26 mm in total length and their yolk sacs were completely absorbed. From 15 days after hatching, they entered the juvenile stage and reached 9.9 ± 0.72 mm in total length. One hundred days after hatching, their band patterns and external form were similar to those of adults, and they averaged 36.0 ± 3.11 mm in total length.

Key words : endangered fish, *Gobiobotia brevibarba*, egg development, early life history

서 론

우리나라의 담수어류는 고유종 64종을 포함하여 39과 213종이 서식하는 것으로 알려졌으며, 이 중 개체수가 급감하여 보호가 필요한 어류는 환경부 멸종위기 야생동·식물 I급(6종)과 II급(12종)으로 지정하여 보호하고 있다(MOE, 2005; Kim and Park, 2007). 잉어과(Cyprinidae) 어류는 북아메리카와 아프리카, 유라시아에 널리 서식하는 어류로 220속 2,420종이 서식하며, 이 중 모래무지아과(Gobioninae)는 유라시아에만 11속이 서식하고 있는 것으로 알려져 있다(Nelson, 2006). 본 연구종인 돌상어

*Gobiobotia brevibarba*는 우리나라 고유종으로 모래무지아과의 꾸구리속(*Gobiobotia*)에 속하는 소형 저서성 어류로 임진강, 한강, 금강의 물살이 빠르고 자갈과 돌이 많이 깔린 중·상류 지역에 서식하며, 최근 환경오염과 댐건설, 하천개발 등으로 인해 개체수가 급감하고 있어 환경부는 2005년 멸종위기 야생동·식물 II급으로 지정하여 법적 보호를 하고 있다(MOE, 2005; Kim and Park, 2007).

돌상어에 대한 연구는 식성(Choi *et al.*, 2001b)과 산란생태(Choi *et al.*, 2001a), 핵형분석(Song and Park, 2005) 등이 있으며, 초기생활사에 대한 연구는 난발생과 전기자어까지의 초기발생 연구가 이루어진 바 있으나(Shim, 1994) 후기자어 및 치어에 대해서는 연구되지 않았다.

* Corresponding author: Tel: 041) 530-1286, Fax: 041) 530-1638, E-mail: incbang@sch.ac.kr

어류의 초기생활사 연구는 종의 특징을 구명하고 유사 종과의 분류학적 유연관계를 밝히는 데 이용되어 왔으며 (Blaxter, 1974), 최근 멸종위기 어류의 복원 사업이 활발히 진행되면서 초기생활사 연구도 함께 포함되어 진행하고 있다(MOE, 2006, 2009; MLTM, 2010).

따라서 본 연구에서는 멸종위기종인 돌상어의 초기생활사를 조사하여 생물학적 특징 및 근연종과의 유연관계를 밝히고 복원 및 인공종묘 생산기술의 기초자료를 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험어의 확보

돌상어의 친어 포획은 원주지방환경청의 포획허가(허가번호 제2010-07)를 받은 후 2010년 4월부터 6월까지 강원도 홍천군 북면 노일리 일대에서 족대(망목 4×4 mm)를 이용하여 암컷과 수컷을 포획하였으며, 이후 실험실로 운반하여 수온 23°C로 관리하였다.

2. 산란유도 및 사육

채집된 개체 중 성숙한 개체들을 골라 암·수 모두 체중 1 kg당 Ovaprim (Syndel, Canada) 0.5 mL을 주사한 후, 12시간 경과 후에 암컷을 복부압박법으로 채란하고 여기에 수컷으로부터 얻은 정액을 식염수에 100배 희석시켜 건식법으로 수정시켰다. 수정란은 15 cm 패트리디쉬에 분산 수용하여 난발생과 전기자어기를 관찰하였으며, 이후 수조(60×45×45 cm)에 옮겨 후기자어기와 치어기를 관찰하였다. 난황흡수가 끝난 자어부터 부화 후 30일까지는 알테미아(brine shrimp) 유생을 공급하였고, 31일 이후부터는 배합사료와 실지렁이를 순차적으로 공급하여 사육하였다. 사육용수는 매일 1/2 환수하였으며, 사육 수온은 23°C로 관리하였다.

3. 난발생 과정 및 자치어 형태 관찰

산란양은 23개체를 조사하였으며, 성숙란의 크기는 개체당 30개를 무작위로 선정하여 측정하였다. 난과 자치어의 발달 과정은 해부현미경(Olympus SZX9, Japan) 하에서 8~57배의 배율에서 관찰하여 디지털카메라(Olympus DP72, Japan)로 촬영하였다. 자치어 발달과정은 부화 직후부터 부화 후 100일까지 각 단계별로 무작위 10개체를 선별한 후 마취제 MS-222 (Sindal, Canada)로 마취하여 관찰 및 전장과 체중을 측정하였다.

결 과

1. 성숙개체 크기 및 성숙란의 특징

채집된 성숙한 돌상어 개체는 4월 말부터 6월 중순까지 채집되었으며, 암컷(n=23)은 체장 62.0~99.1(75.5±12.22) mm, 체중 2.7~13.3(7.3±3.16) g이었으며 수컷(n=10)은 체장 65.2~85.4(71.1±6.57) mm, 체중 4.7~8.9(5.6±1.49) g으로 대체로 비슷한 경향을 보였다. 산란 유도된 성숙란은 회색의 구형이었고, 산란양(n=23)은 평균 744±401(259~1,642)개였다. 체장 65.6 mm의 성숙란(n=30)의 크기는 1.24±0.07(1.11~1.42) mm였다.

2. 난발생 과정

돌상어의 수정란은 약간의 접착성을 띤 분리 침성난이였으며, 수정 15분 후에 물을 흡수하여 2.0±0.06 mm(n=20)으로 팽창하였다(Fig. 1A). 수정 후 1시간 후에 세포질이 동물극(animal pole)쪽으로 끌려 배반(blastodisc, 1세포기)을 형성하였으며(Fig. 1B), 2세포기는 1시간 25분 후에 배반에 난할이 일어나 형성하였다(Fig. 1C). 4세포기는 1시간 45분 후에 경할을 통하여 형성하였고(Fig. 1D), 8세포기는 2시간 5분 후에 난할을 통하여(Fig. 1E), 16세포기는 2시간 25분 후에 경할을 통하여 형성하였다(Fig. 1F). 32세포기는 2시간 50분 후에(Fig. 1G), 64세포기는 3시간 10분 후에 형성하였으며(Fig. 1H), 상실기(morula, 256세포기)는 4시간 후에 형성하였고(Fig. 1I), 이후 난할을 계속하여 7시간 후에는 포배기(blastula)를 형성하였다(Fig. 1J). 8시간 40분 후에는 낭배기(gastrula)가 형성되어 식물극(vegetal pole) 쪽으로 덩기 시작하였으며(Fig. 1K), 이후 13시간 30분 후에는 90% 이상을 덮어 낭배 말기에 도달하였다(Fig. 1L). 15시간 후에는 원구(blastopore)가 폐쇄되고 배체(embryo)의 윤곽이 뚜렷해졌으며(Fig. 1M), 16시간 30분 후에는 근절(myotomes)이 3~4개가 생기고 안포(optic vesicle)가 형성되었다(Fig. 1N). 18시간 후에는 8~9개의 근절이 형성되었으며(Fig. 1O), 24시간 후에는 근절이 20~21개이고 눈에 렌즈가 형성되며 이포(auditory vesicle)와 Kupper's vesicle이 형성되었다(Fig. 1P). 이후 꼬리가 난황에서 분리되면서 움직이기 시작하였으며, 41시간 후에는 34~40 근절이 생기고 심장이 뛰기 시작하였고, Kupper's vesicle이 사라졌다(Fig. 1Q). 65시간 후에는 눈이 검은색으로 착색되었으며, 가슴지느러미가 형성되기 시작하였다(Fig. 1R). 수정 후 100시간부터 꼬리를 이용하여 난막(chorion)

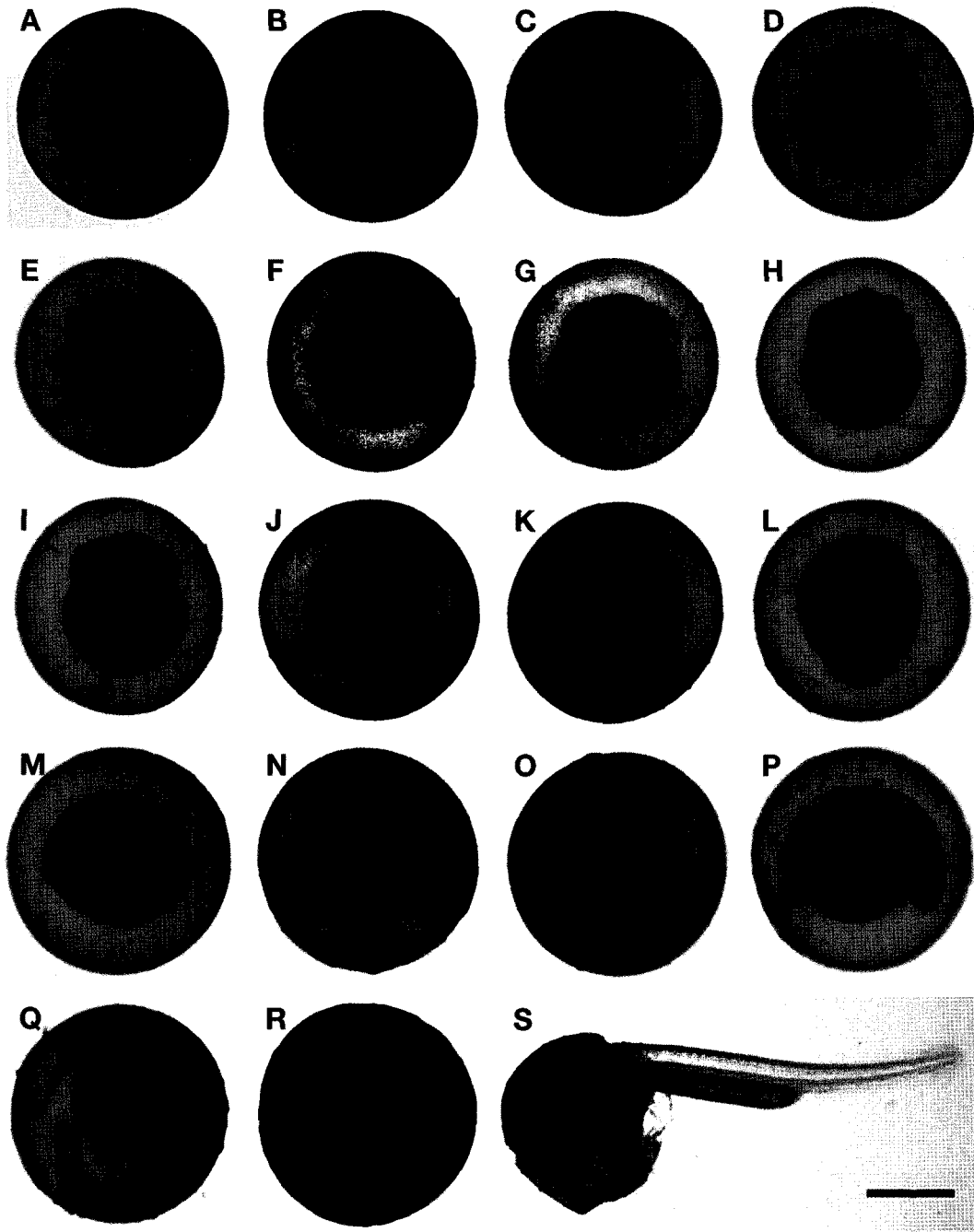


Fig. 1. Egg development and hatching of *Gobiobotia brevibarba* at 23°C. Time required for each developmental stage is shown in Table 1. The bar indicates 1 mm.

을 뚫고 부화하는 개체가 관찰되었고, 120시간 후에 50%가, 130시간 내에는 모든 개체가 부화하였다(Fig. 1S).

3. 자어와 치어의 발달

1) 전기자어기

부화 직후의 자어는 몸이 S로 약간 휘어져 있었으며

크기는 전장 5.5 ± 0.29 (4.9~5.8) mm (n=10)이었다. 몸은 무색으로 입과 항문은 열리지 않았고 앞쪽에 구형의 난황이 있으며 몸의 중앙과 뒤쪽에 막지느러미가 형성되었다(Fig. 2L₁). 부화 후 1일째의 자어는 전장 6.0 ± 0.23 mm (n=10)으로 몸이 1자로 펴졌고 가슴지느러미가 눈 지름의 2배 이상으로 발달하였으며 난황은 흡수되면서 축소

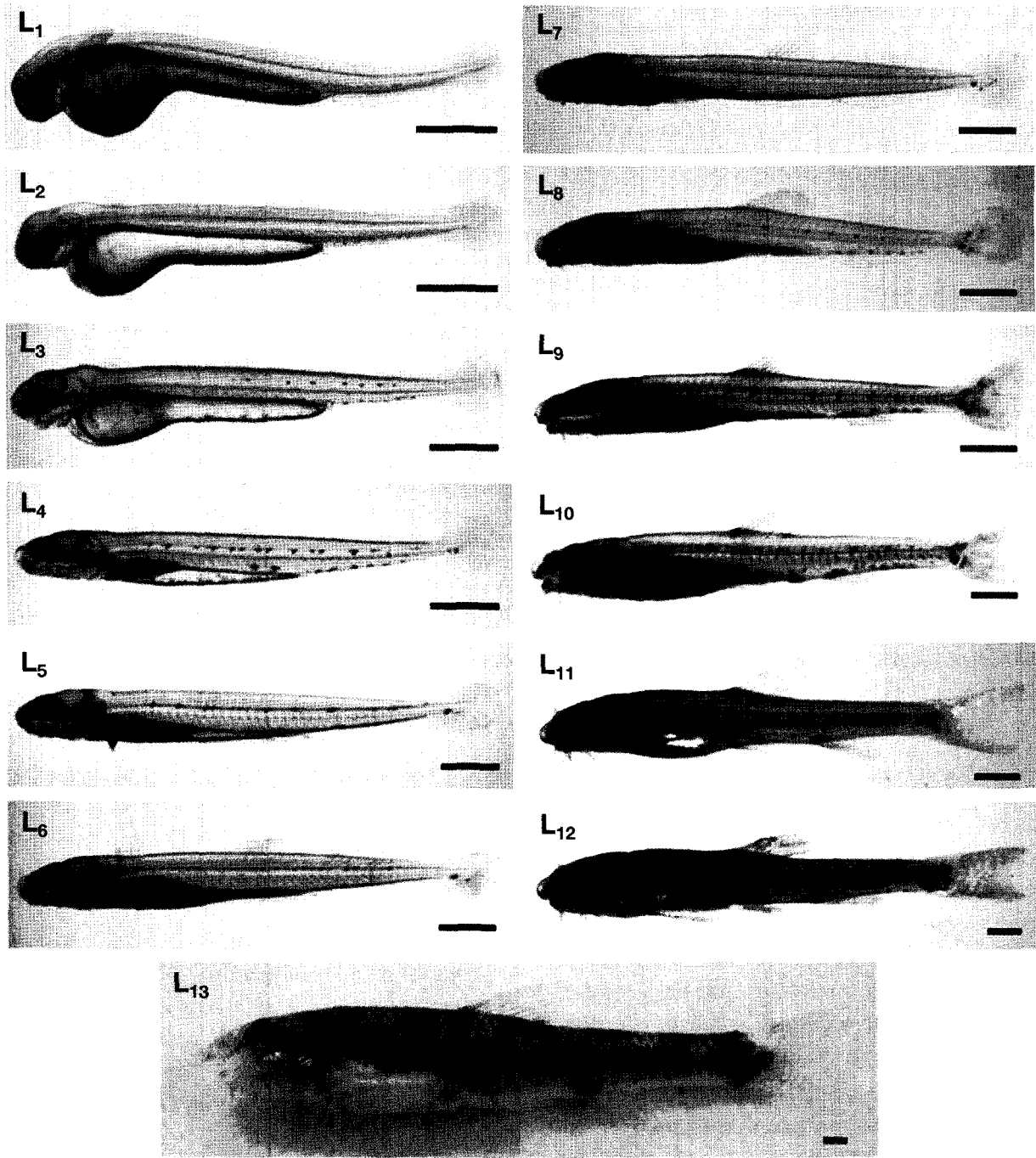


Fig. 2. Larva and juvenile development of *Gobiobotia brevibarba* at 23°C. The bars indicate 1 mm. L₁: Newly hatched prelarva, 5.5±0.29 mm (TL); L₂: 1 day, 6.0±0.23 mm; L₃: 2 days, 6.3±0.30 mm; L₄: 3 days, 7.2±0.18 mm; L₅: 4 days, 7.4±0.183 mm; L₆: 5 days, 7.5±0.26 mm; L₇: 7 days, 7.7±0.36 mm; L₈: 10 days, 8.5±0.57 mm; L₉: 15 days, 9.9±0.72 mm; L₁₀: 20 days, 11.3±0.71 mm; L₁₁: 40 days, 19.1±1.47 mm; L₁₂: 50 days, 22.3±0.97 mm; L₁₃: 100 days, 31.3±3.11 mm.

되었다(Fig. 2L₂). 부화 후 2일째는 전장 6.3±0.30 mm (n=10)로 난황이 1/2 이상 흡수되었고 턱부분이 발달하면서 눈이 위쪽으로 올라갔으며 체측 중앙과 항문 뒤쪽으로 5~7개의 흑소포가 생성되었다(Fig. 2L₃). 부화 후 3

일째에는 전장 7.2±0.18 mm (n=10)로 입과 항문이 열리면서 먹이(알테미아)를 섭식하기 시작하였고 난황이 거의 흡수되었다. 또한 두부와 가슴 쪽에 연한 노란색의 색소가 침착되었으며 체측 중앙에 12~15개, 항문 뒤쪽

Table 1. Egg development of *Gobiobotia brevibarba* at a water temperature of 23°C.

Stage	Elapsed	Characters	Fig. 1
Zygote period			
Insemination	00 h 00 min	Sperm and egg are inseminated	
Swelling	00 h 15 min	Swelling	A
Blastodisc	01 h 00 min	Blastodisc	B
Cell cleave period			
2 cells	01 h 25 min	2 blastodisc is cleavage	C
4 cells	01 h 45 min	2-2 array of blastomeres	D
8 cells	02 h 05 min	2-4 array of blastomeres	E
16 cells	02 h 25 min	4-4 array of blastomeres	F
32 cells	02 h 50 min	4-8 array of blastomeres	G
64 cells	03 h 10 min	8-8 array of blastomeres	H
Morula (256 cells)	04 h 00 min	16 regular tiers of blastomeres	I
Blastula	07 h 00 min	Flattening produces an elliptical shape	J
Early gastrulation	08 h 40 min	Early gastrulation	K
Late gastrulation	13 h 30 min	Late gastrulation	L
Embryonic period			
Formation of the embryo	15 h 00 min	Formation of the embryo	M
3~4 myotomes	16 h 30 min	3~4 myotomes, formation of optic vesicles	N
8~9 myotomes	18 h 00 min	8~9 myotomes	O
20~21 myotomes	24 h 00 min	20~21 myotomes, formation of auditory vesicles and Kupffer's vesicles	P
34~40 myotomes	41 h 00 min	34~40 myotomes, formation of heart, disappear Kupffer's vesicles	Q
Black pigmentation in eyes	65 h 00 min	Black pigmentation in eyes, formation of pectoral fins	R
Hatching	120 h 00 min	Hatching	S

으로 3~5개의 흑색포가 관찰되었다(Fig. 2L₄).

2) 후기자어기

부화 후 4일째에는 전장 7.4 ± 0.26 mm (n=10)로 난황을 모두 흡수하였고 몸 전체에 옅은 노란색의 색소가 침착되었으며 꼬리지느러미 원기가 관찰되었다(Fig. 2L₅). 부화 후 5일째에는 전장 7.4 ± 0.36 mm (n=10)로 등지느러미 원기가 나타나기 시작하였고 꼬리지느러미 기조 5~6개가 관찰되었으며 수염이 1쌍 생성되었다(Fig. 2L₆). 부화 후 7일째에는 전장 7.7 ± 0.36 mm (n=10)로 등지느러미 기조가 정수로 7~8개가 나타났고 꼬리지느러미 기조는 7~10개가 관찰되었으며 수염이 발달하기 시작하였다(Fig. 2L₇). 부화 후 10일째에는 전장 8.5 ± 0.57 mm (n=10)로 뒷지느러미 원기가 나타났으며 꼬리지느러미 기조는 15~20개가 관찰되었다(Fig. 2L₈).

3) 치어기

부화 후 15일째에는 전장 9.9 ± 0.72 mm (n=10)로 뒷지느러미 기조가 정수(5~6개)로 나타나 치어기로 이행하였다. 또한 체측의 흑색포가 점점 커지고 진해졌고 뒷지느러미 쪽의 막 지느러미는 거의 없어졌으나 등쪽의 막지느러미는 일부 남아 있었으며 수염이 4쌍 관찰되었다(Fig. 2L₉).

20일 후에는 전장 11.3 ± 0.71 mm (n=10)로 체측반문이 보다 진해졌으며 수염이 길게 신장되었다(Fig. 2L₁₀). 40일 후에는 전장 19.1 ± 1.47 mm (n=10)로 몸은 옅은 주황색을 띠었으며 체측 중앙에 비교적 진한 노란색 줄이 나타났으며 등지느러미 기조부와 뒷지느러미 기조부, 꼬리지느러미 기조부에 검은 무늬가 나타났다(Fig. 2L₁₁). 50일 후에는 전장 22.3 ± 0.97 mm (n=10)로 두부에 작은 흑색포가 산재하였고 몸의 등쪽에 4개의 반문이, 체측 중앙에 3~4개의 반문이 나타나며 뒷지느러미 기조부와 미병부에 진한 반문이 나타났다. 100일 후에는 전장 31.3 ± 3.11 mm (n=10)로 체측 등쪽과 중앙은 짙은 갈색바탕에 5~6개의 반문이 나타났으며 배쪽은 흰색을 띠어 성어와 유사하였다.

4. 성장

부화직후 자어는 전장 5.5 ± 0.29 mm, 체중 0.0014 g (n=10)이었고 이후 급격한 성장을 보여 10일에 전장 8.5 ± 0.57 mm, 체중 0.003 g (n=10), 30일에 전장 15.6 ± 0.51 mm, 체중 0.020 \pm 0.004 g (n=10), 50일 전장 22.3 ± 0.97 mm, 체중 0.073 \pm 0.010 g (n=10), 70일에는 전장 27.4 ± 1.92 mm, 체중 0.17 \pm 0.033 g (n=10)이었으며 100일에는

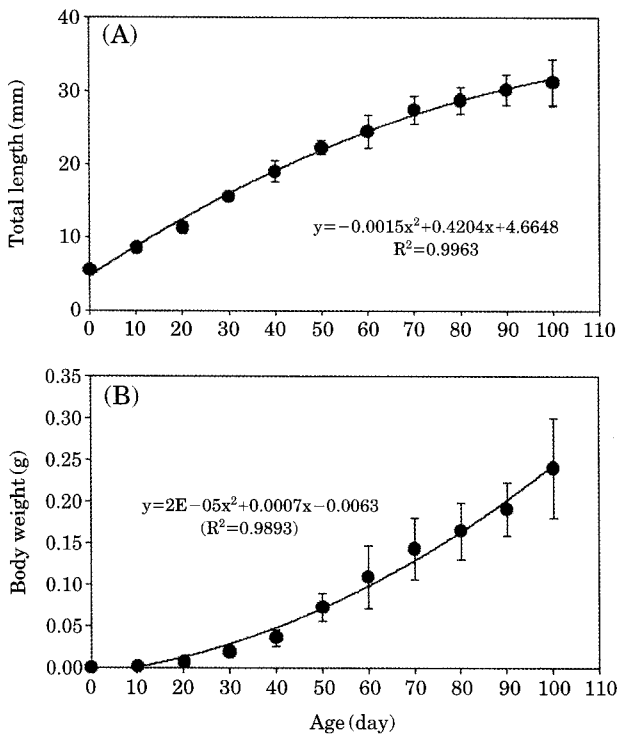


Fig. 3. Early growth of *Gobiobotia brevibarba*. Data of total length (A) and body weight (B) after hatching at a water temperature of 23°C. Vertical lines indicate standard deviation.

전장 31.3 ± 3.11 mm, 체중 0.24 ± 0.08 g (n=10)이었다. 초기 전장성장식은 $y = -0.0015x^2 + 0.4204x + 4.6648$ ($R^2 = 0.9963$)으로 나타났고(Fig. 3A), 초기 체중성장식은 $y = 2E-05x^2 + 0.0007x - 0.0063$ ($R^2 = 0.9893$)으로 나타났다(Fig. 3B).

고 찰

돌상어 *Gobiobotia brevibarba*의 산란시기는 성숙란을 포란한 개체를 통해 추정해보면 4월 하순부터 6월 중순까지이며 산란성기는 5월로 추정되어 Shim(1994)의 4월 하순부터 5월, Choi et al.(2001)의 5월 중순부터 하순과 비교적 유사하였다.

산란양(n=23)은 744 ± 401 개로 나타나 Shim(1994)의 금강 돌상어 500~700개와 비슷하였으며, 성숙란의 난경은 1.24 ± 0.07 mm로 Shim(1994)의 1.8~2.0 mm와는 차이를 보였다. 모래무지아과의 종들과 산란양 및 성숙란의 크기를 비교하여 보면(Table 2), 산란양에서는 돌마자 *Microphysogobio yaluansis* (Baek, 1978)와 유사하나 감

돌고기 *Pseudopugtungia nigra* (Lee et al., 2004)와 돌고기 *Pungtungia herzi* (Lee et al., 2002)보다는 적었으며 참붕어 *Pseudorasbora parva* (Han et al., 2001)와 쉬리 *Coreoleuciscus splendidus* (Song, 1977)보다는 많았고, 난경은 모래무지아과의 다른 어류에 비해 비교적 작은 것으로 나타났다.

난발생 과정 중 말기(수정 후 65시간)에 돌상어 눈은 검게 착색되었는데, 일반적으로 부화시간이 비교적 짧은 어류인 돌마자(Baek, 1978), 금강모치 *Rhynchocypris kumgangensis* (Song and Choi, 1997), 미호종개 *Cobitis choii* (Song et al., 2008), 얼룩새코미꾸리 *Koreocobitis naktongensis* (Song et al., 2009), 왕종개 *Iksookimia longicarpa* (Ko et al., 2009) 등에서는 부화 후 눈이 검게 착색되었으나, 부화시간이 비교적 긴 어류인 감돌고기(Lee et al., 2004)와 돌고기(Lee et al., 2002), 참붕어(Han et al., 2001), 쉬리(Song, 1977) 등의 어류에서는 난 발달 과정 말기에 눈이 검게 착색되어 나타나는 것으로 보고된 바 있어 부화시간과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다.

부화시간은 120시간(23°C)만에 부화하여 Shim(1994)의 113시간(20°C)보다는 약간 느렸으며, 모래무지아과 유연종 사이에서는 비교적 쉬리의 111~114시간(Song, 1977)과 비슷하였으나 모래무지 164시간(Lee et al., 2008), 감돌고기 189시간(Lee et al., 2004), 돌고기 186시간(Lee et al., 2002), 참붕어 183시간(Han et al., 2001), 중고기 252시간(Kang et al., 2007)보다는 느렸다(Table 2).

부화직후의 자어크기는 5.5 mm로 Shim(1944)의 6.4 mm와 약간의 차이를 보였으며, 감돌고기(Lee et al., 2004)와 참붕어(Han et al., 2001), 쉬리(Song, 1977) 등과 유사하였다(Table 2).

난황이 모두 흡수되는 후기자어로의 이행 시기는 4일로 나타나 Shim(1994)의 5일과 약간의 차이를 보였으며, 유연종에 있어서는 모래무지(Lee et al., 2008)와 참붕어(Han et al., 2001), 중고기(Kang et al., 2007)의 3일보다는 길었으나 돌마자(Baek, 1978)와 돌고기(Lee et al., 2002)보다는 짧았다. 또한 지느러미 기조가 모두 정수가 되는 치어기로의 이행시기는 15일로 나타나 모래무지아과의 다른 어류보다 매우 짧은 특징을 보였다(Table 2).

모래무지아과에 속하는 어류들은 매우 다양한 서식지 특징과 생활사를 가지는 것으로 알려졌으나(Banarescu and Nalbant, 1973; Kim et al., 2005) 초기생활사에 대해서는 일부 종에서만 연구가 진행되어 왔다. 특히 우리나라 꾸구리속(*Gobiobotia*) 어류는 본 연구종인 돌상어를 비롯하여 꾸구리 *G. macrocephala*, 흰수마자 *G. nakdongensis* 3종이 서식하는 것으로 알려졌는데, 세 종 모두

Table 2. Comparison of early life historical characteristics of Gobioninae species.

Species	Egg diameter (mm, mean)	Spawnd eggs (mean)	Time of hatching	Hatching size (mm, mean)	Days until postlarva	Days until juvenile	Reference
<i>Gobiobotia brevibarba</i>	1.1~1.4 (1.2)	259~1,624 (744)	120 h (23°C)	4.9~5.8 (5.5)	4	15	Present study
	1.8~2.0	500~700	113 h (20°C)	6.4	5	—	Shim, 1994
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	— (0.5)	276~1,230	20 h (22~25°C)	0.7	11	31	Baek, 1978
<i>Pseudogobio esocinus</i>	1.8~2.2 (2.0)	—	164 h (19°C)	3.8~5.5	3	42	Lee <i>et al.</i> , 2008
<i>Pseudopugtungia nigra</i>	1.9~2.2 (2.2)	1,400~1,900 (1,600)	189 h (19°C)	5.7~5.9 (5.8)	6	44	Lee <i>et al.</i> , 2004
<i>Puntungia herzi</i>	2.0~2.3 (2.1)	1,400~1,860 (1,640)	186 h (19°C)	5.9~6.3 (6.0)	7~8	45	Lee <i>et al.</i> , 2002
<i>Pseudorasbora parva</i>	1.3~2.7 (1.9)	250~420	183 h (17.6°C)	4.5~5.5 (5.2)	3	65	Han <i>et al.</i> , 2001
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>	2.5~2.9 (2.6)	—	252 h (15~21°C)	9.6	3	10	Kang <i>et al.</i> , 2007
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	—	256	111~114 h (19~23°C)	5.2	—	—	Song, 1977

하상 및 유숙 등에 있어 특이적인 서식지 특징을 가졌으며 최근 개체수가 감소하여 환경부지정 멸종위기 야생동·식물 I, II급에 지정된 중요한 종들이다(Kim *et al.*, 2005; MOE, 2005). 하지만 이들 종들의 초기생활사나 복원에 관한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 추후 이 종들의 초기생활사에 대한 비교 연구는 계통학적 유연관계를 밝히고 멸종위기종 복원을 위한 기초자료 확보 측면에서 필요하다고 판단된다.

적 요

멸종위기종 돌상어 *Gobiobotia brevibarba*의 초기생활사에 대한 연구는 생물학적 특성 및 복원의 기초자료를 확보하기 위해 2010년 4월부터 6월까지 강원도 홍천군에서 성숙한 개체를 채집하여 난발생 및 초기생활사를 조사하였다. 채집된 성숙한 암컷과 수컷은 Ovaprim을 주사한 후 건식법으로 인공수정시켰다. 성숙란은 약한 접착성을 띤 투명한 회색난이었으며, 난경은 1.24 ± 0.07 mm였다. 수은 23°C에서 수정 후 120시간 후에 부화하였으며, 부화 직후 전기자어는 전장 5.5 ± 0.29 mm였다. 부화 후 4일만에 난황을 모두 흡수하였으며 전장 7.4 ± 0.26 mm로 성장하였고, 부화 후 15일에는 전장 9.9 ± 0.72 mm로 모든 지느러미 기조가 정수가 되어 치어기로 이행하였다. 부화 후 100일 후에는 전장 36.0 ± 3.11 mm로

체측반문과 외부형태가 성어와 유사한 모습을 보였다.

인 용 문 헌

- Baek, W.G. 1978. On the life history of *Microphysogobio yaluensis* (Mori). *Korean Journal of Limnology* 11: 43-49.
- Banarescu, P. and T.T. Nalbant. 1973. Pisces, Teleostei, Cyprinidae (Gobioninas). *Das Tierreich. Lieferung 93.* Water de Gruyter, Berlin, 304 pp.
- Blextor, J.H.S. 1974. *The Early Life History of Fish.* Springer-Verlag, Berlin, 765 pp.
- Choi, J.S., H.K. Byeon and O.K. Kwon. 2001a. Reproductive ecology of *Gobiobotia brevibarba* (Cyprinidae). *Korean J. Ichthyol.* 13: 123-128. (in Korean)
- Choi, J.S., H.K. Byeon, J.H. Park and O.K. Kwon. 2001b. Feeding habit of *Gobiobotia brevibarba* (Cyprinidae) from the Hongcheon River, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 13: 230-236. (in Korean)
- Han, K.H., S.H. Lee, W.I. Seo, D.J. Yoo, D.S. Jin, S.H. Oh and C.C. Kim. 2001. The spawning behavior and early life history of the false dace, *Pseudorasbora parva*. *J. Inst. Sci. Yosu Natl. Univ.* 3: 67-76. (in Korean)
- Kang, Y.J., H. Yang, H.H. Lee, E.H. Lee and C.H. Kim. 2007. Characteristics on spawning-host selection and early life history of *Sarcocheilichthys nigripinnis morii* (Pisces, Cyprinidae). *Korean J. Environ. Biol.* 25: 370-377. (in

- Korean)
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2007. Freshwater Fishes of Korea. Kyohak Publishing, Seoul, pp. 138-143. (in Korean)
- 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, p. 117. (in Korean)
- Ko, M.H., J.Y. Park and I.S. Kim. 2009. Development of eggs and early life history of *Iksookimia longicorpa* (Pisces: Cobitidae) from Nakdong River of Korea. *Korean J. Ichthyol.* **21**: 15-22. (in Korean)
- Lee, S.H., G.N. Oh, K.S. Kim, Y.S. Oh, K.W. Kang, J.H. Hwang, B.I. Lee, W.K. Lee and K.H. Han. 2008. Embryonic and larval development of goby minnow, *Pseudogobio esocinus*. *Dev. Reprod.* **12**: 283-288.
- Lee, S.H., K.H. Han and D.S. Hwang. 2002. The early life history and spawning behavior of the *Puntungia herzi*. *J. Inst. Sci. Yosu Natl. Univ.* **4**: 115-126. (in Korean)
- Lee, S.H., K.H. Han, S.M. Yoon, D.S. Hwang, D.J. Yoo, C.L. Lee, I.S. Kim and Y.M. Son. 2004. Early life history and spawning behavior of *Pseudopuntungia nigra*. *Korean J. Ichthyol.* **16**: 309-316.
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2010. Culture and Restoration of Endangered Species in the Major Four River Drainages, Soonchunhyang University, Asan, 489 pp. (in Korean)
- MOE (Ministry of Environment). 2005. Illustrated Book of Endangered Wild Animals and Plants in Korea. MOE, Incheon, 247 pp. (in Korean)
- MOE (Ministry of Environment). 2006. Species Conservation, Restoration and Development of Propagation Technique for the Endangered Endemic Species among the Freshwater Fishes from Korea. Gunsan University, Gunsan, 537 pp. (in Korean)
- MOE (Ministry of Environment). 2009. Development of Genetic Diversity Analysis, Culture and Ecosystem Restoration Techniques for Endangered Fish, *Iksookimia choii*. Soonchunhyang University, Asan, 537 pp. (in Korean)
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the World. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, pp. 139-143.
- Shim, J.H. 1994. Early embryonic development of *Gobiobotia brevibarba*, Korea endemic species. Chungnam National University Master of Science Thesis, 26 pp. (in Korean)
- Song, H.B. and G.M. Park. 2005. Karyotypes of the species of *Gobiobotia* (Pisces: Cyprinidae) in Korea. *Korean J. Ichthyol.* **17**: 159-166.
- Song, H.B. and S.S. Choi. 1997. Development of eggs and larvae of Korean fatminnow, *Moroco kumgangensis* (Cyprinidae). *Korean Journal of Limnology* **30**: 67-74. (in Korean)
- Song, H.H. 1977. Studies on the spawning and early development of *Coreoleuciscus splendidus* Mori. *J. Sci. Edu. Study (Jeonju University of Education)* **3**: 49-60. (in Korean)
- 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)
- Song, H.Y., W.J. Kim, W.O. Lee and I.C. Bang. 2008. Morphological development of egg and larvae of *Iksookimia choii*. *Korean Journal of Limnology* **41**: 104-110. (in Korean)

(Manuscript received 15 February 2011,
Revision accepted 23 May 2011)