

줄복, *Takifugu pardalis* (Temminck et Schlegel)의 산란습성 및 초기생활사

한경호 · 조재권* · 이성훈 · 황동식 · 유동재

여수대학교 수산생명과학부, *국립수산진흥원 남해수산연구소

Spawning Behavior and Early Life History of *Takifugu pardalis* (Teleostei: Tetraodontidae) in Korea

Kyeong-Ho Han, Jae-Kwon Cho*, Sung-Hun Lee, Dong-Sik Hwang and Dong-Jae Yoo

Division of Aqua Life Science, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea, *South Sea Fisheries Research Institute of NFRDI, Yosu 556-820, Korea

Spawning behavior of the *Takifugu pardalis* (Temminck et Schlegel) was observed on the Jook-do coast in Tongyong from March 1997 to June 1999.

The spawning ground was located in the intertidal zone between Tongyong and Koje-do. Its bottom was mainly gravels and stones, and its depth was 0.5~1.0 m. Spawning season was from the end of the March to the middle of May. During the spawning season, the mature fishes formed school a of 10~30 individuals, then moved to the spawning ground together. When a mature female spawned eggs, the attendant males fertilized them at the same time.

The fertilized eggs obtained from the parent fishes caught at the spawning ground were adhesive, opaque and spherical, measuring 1.14~1.24 mm (mean 1.19mm, n = 50) in diameter with numerous tiny oil globules. Hatching period was about 205 hours after fertilization at water temperature of 18.0±0.5°C. The newly hatched larvae were 2.92~3.10 mm (mean 3.01 mm, n = 20) in total length (TL), had a large yolk, and 11~13+14~15 = 25~28 myomeres. At 5 days, the larvae had attained 3.79~3.85 mm (mean 3.82 mm, n = 20) in TL and had transformed into the postlarval stage. At 15 days, the postlarvae had attained 7.78~7.90 mm (mean 7.84 mm, n = 20) in TL. At 21 days, had larvae attained 10.15~10.27 mm (mean 10.21 mm, n = 20) in TL and had reached the juvenile stage. All fins were formed with a complete set of fin rays having the following counts: dorsal fin rays 11~12; anal fin rays 9; pectoral fin rays 14~15; caudal fin rays 11~12.

Key words : *Takifugu pardalis*, spawning behavior, early life history, egg, larvae, juvenile

서 론

줄복, *Takifugu pardalis* (Temminck et Schlegel)은 복어목 (Tetraodontiformes), 참복아목 (Tetraodontoidei),

참복과 (Tetraodontidae)에 속하는 어류로서 등쪽은 황갈색 바탕에 눈 보다 큰 검은 갈색의 둥근 반점들이 많이 산재해 있으며, 배부분은 흰색으로 몸에 나타나는 바탕색은 참복屬의 다른 종과 달리 반점의 색에 비하여 더 어두운 색이고, 피부극 대신 유두상 돌기가 있어서

쉽게 구분할 수 있다(한, 1995; 한과 김, 1998c; 김 등, 2001).

본 種은 우리나라 서남동부의 전 연해, 일본 홋카이도, 오키나와 및 중국 상하이 등지에 분포하는 내만성 어류로 우리 나라의 동해, 서해, 남해, 동중국해 및 북해도 이남의 일본에까지 넓게 분포한다고 기재(정, 1977; 한, 1995; 한과 김, 1998a, b)되어 있으나 주로 동중국해와 남해에 풍부하며, 일생의 대부분을 조류가 있는 곳이나 암초지대에 서식한다. 동해안의 동해, 임원, 죽변 및 감포에서 어획되고, 남해안에서는 부산, 거제도, 통영 및 여수지역 등지에서도 어획된다.

우리 나라에서의 북어류에 대한 연구로는 이와 김(1969)의 자주복의 난발생과 자치어의 성장에 관한 연구를 시작으로 자주복 자치어의 내부 골격 발달과 성장(박과 김, 1991), 최근에는 황복, *Takifugu obscurus*의 난발생과 자치어 발달(장 등, 1996) 및 복섬, *Takifugu niphobles*의 산란습성 및 초기생활사(Oh et al., 2000) 등이 있으며, 일본에서는 가시복, *Diodon holacanthus*의 산란습성 및 초기생활사(Sakamoto and Suzuki, 1978), 밀복, *Lagocephalus lunaris*의 난발생, 유자어의 형태 및 유생사육(Fujita, 1966), 까칠복, *Takifugu stictontus*(Fujita, 1956a)과 흰점복, *Takifugu poecilonotus*(Fujita, 1956b)의 초기발생에 대한 연구, 복섬의 자치어 발달, 생태적 연구, 산란습성 및 산란생태(Uno, 1955; Katayama and Fujita., 1967; Kobayashi et al., 1978; 本間 · 北見, 1980) 등 많은 보고가 있으나, 줄복에 관한 연구는 미흡한 실정에 있다.

본 연구는 우리나라 남해 연안에 분포하는 줄복의 산란습성, 난발생 및 발육단계에 따라 자치어의 형태 발달에 대하여 관찰하였기에 보고한다.

재료 및 방법

줄복의 산란습성은 1997년부터 1999년까지 3년간, 3월에서 6월까지 경상남도 통영시 죽도 연안(Fig. 1)에 산란하기 위하여, 산란장소로 이동한 줄복 어미를 대상으로 관찰하였으며, 이들이 자연 산란한 수정난을 채집하여 난발생과정을 관찰하였다. 또한 정확한 난발생 진행 시간을 측정하기 위하여 현장에서 성숙한 어미들을 소형들망(3 × 1 m)으로 채집하여, 여수대학교 자원생물실험실로 옮겨 수용하였으며, 이들 어미 중 건강한 암수 4 쌍을 선택, 1999년 4월 21일, 23일 두차례 인공수정시켜 관찰하였다. 난발생과정 중 사육 수온은 $18.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 염분은 $32.0 \pm 0.5\text{‰}$ 을 유지하였고, 사육수는 여과해수를

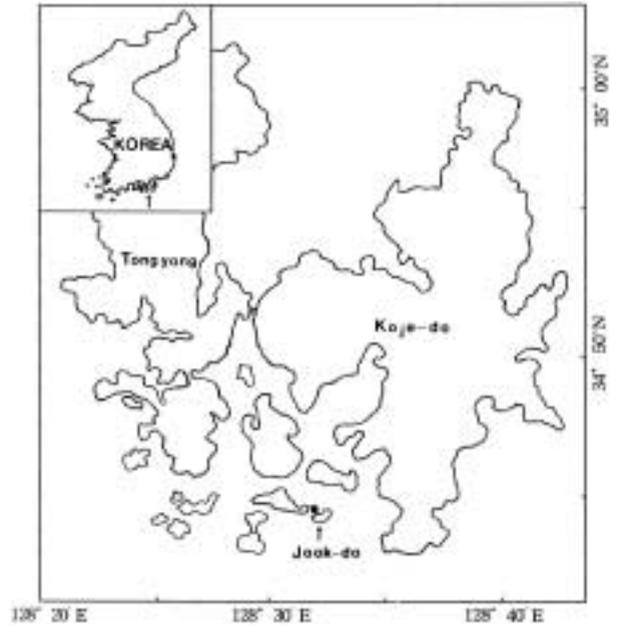


Fig. 1. Map showing the sampling area of *Takifugu pardalis* (Temminck et Schlegel) on the Jook-do coast in Tongyeong.

사용하였으며, 매일 2회 1/2씩 환수하였다. 수정된 난은 무작위로 50개의 알을 추출하여 만능투영기를 이용, 난경을 0.01 mm까지 측정하였고, 수정 후 발생중인 난은 2%의 NaClO가 용해된 해수에 10분간 처리하여 불투명한 난막을 투명화(道津, 1986)시켜, 매시간 입체해부현미경을 사용하여 발생과정을 관찰하였다.

줄복 자치어의 형태 발달을 관찰하기 위하여 부화 직후부터 1일 평균 20마리씩 채취하여 얼음 또는 마취제(MS 222, Tricane methasufonate)를 이용하여 마취시킨 후, 어체의 각 부위를 입체해부현미경과 만능투영기를 사용하여 0.01 mm까지 측정, 관찰하였으며, 자치어의 형태 발달 단계는 Russell(1976)에 따라 전기자치어, 후기자치어 및 치어기로 구분하여 관찰하였다.

결 과

줄복의 산란습성, 난의 형태, 인공수정에 의한 난발생과정 및 발육단계에 따른 자치어의 형태발달은 다음과 같다.

1. 산란습성

줄복의 자연산란장인 죽도(Fig. 1)는 남해 동부 연안인 통영과 거제사이의 거제만 외측에 위치한 섬으로, 저

질이 암반이나 큰돌이 많은 연안의 조간대이며, 산란장의 수심은 0.5~1.0 m였다. 산란 시기는 3월 말에서 5월 중순까지였으며, 이 기간 동안의 수온은 13.4~19.8°C, 염분은 30.4~32.2‰ 범위였다.

산란기 중 어미들의 산란행동을 관찰한 결과, 성숙한 어미들이 10~30개체씩 군집을 이루어 산란장으로 이동하였으며, 수컷 여러 마리가 성숙한 암컷의 뒤를 쫓다가 수컷이 주둥이부분으로 암컷의 배쪽을 쿡쿡 찌르는 행동을 여러번 반복하였다. 이러한 구애행동이 지속되면 암컷이 먼저 방란을 하였고, 수컷 여러 마리가 동시에 방정을 하는 행동이 이루어졌으며, 이러한 형태로 수정률을 극대화하였다. 산란 행동은 주로 대조시 만조가 되기 2~3시간 전부터 이루어져 만조 1~2시간 전까지 이루어졌으며, 일시적으로 무리를 지어 산란을 하므로 주위의 수색이 수컷의 정액으로 인하여 유백색을 나타내었다. 산란 후 어미들은 간조가 시작될 때 일시적으로 산란장에서 다른 곳으로 이동하였다.

2. 수정란

줄복의 수정란은 구형이며, 불투명한 분리침성란이었다. 난경은 1.14~1.24 mm (평균 1.19 mm, n = 100) 범위였으며, 1.18 mm의 크기가 23.1%를 차지하여 주 모드를 형성하였다 (Fig. 2). 난황에는 작은 유구 (1.8~61 µm)가 다수 관찰되었다.

3. 난발생과정

인공 수정된 줄복의 난 (Fig. 3A)은 수정 후 세포질이 동물극쪽으로 이동하여 수정 후 45분에는 배반이 형성되었고 (Fig. 3B), 수정 후 2시간에 처음으로 난황이 시작되어 2세포기가 되었으며 (Fig. 3C), 수정 후 3시간에는 4세포기로 이행되었다 (Fig. 3D).

시간이 경과함에 따라 난황이 진행되어 수정 후 5시간에는 8세포기가 되었으며 (Fig. 3E), 수정 후 7시간에는 16세포기가 되었으며 (Fig. 3F), 수정 후 9시간에는 32세포기가 되었으며 (Fig. 3G), 그 후 난황이 계속 진행되어 할구는 점차적으로 작아져 수정 후 약 14시간이 경과하자 뿔나무 열매와 같은 모양의 상실기 (Fig. 3H)에 도달하였다.

난황이 다시 진행됨에 따라 할구는 더욱 작게되어 수정 후 17시간에는 포배기가 되었다 (Fig. 3I). 수정 후 20시간에는 배반이 확장되었고, 배환이 형성되었으며 (Fig. 3J), 수정 후 30시간에는 배반엽이 난황을 덮어 배환의 한 부분이 안쪽으로 굽어져 함입하여 낭배기에 달하였다 (Fig. 3K). 이 후 난황의 측면 말단에서부터 함몰되면서 배순이 상승하여 수정 후 41시간에 배체가 형성되기 시작하였다 (Fig. 3L).

수정 후 70시간에는 배체의 머리부위에 안포와 10~11개의 근절이 형성되었다 (Fig. 3M). 수정 후 85시간에는 이포와 안포에 렌즈가 형성되기 시작하면서 뇌가 분화하였고, 배체의 꼬리부분이 신장되었으며, 난황 및 체표면에 흑색소포가 착색되었다. 이때 근절수는 17~18개였다 (Fig. 3N).

수정 후 약 130시간에는 머리 꼭대기에 흑색소포가 나타나기 시작하였고, 눈이 검게 착색되었으며, 배체에 막상의 지느러미가 형성되었다. 심장 박동 및 혈액의 흐름이 관찰되었고, 심장은 분당 114~117회 박동하였으며, 꼬리가 난황에서 분리되어 배체가 간헐적으로 움직이기 시작하였다 (Fig. 3O).

수정 후 205시간에는 배체에 막상의 가슴지느러미가 형성되었으며, 배체가 심하게 꿈틀거리면서 꼬리부터 난막을 뚫고 부화하기 시작하였다 (Fig. 3P).

수정 후 205시간에는 배체에 막상의 가슴지느러미가 형성되었으며, 배체가 심하게 꿈틀거리면서 꼬리부터 난막을 뚫고 부화하기 시작하였다 (Fig. 3P).

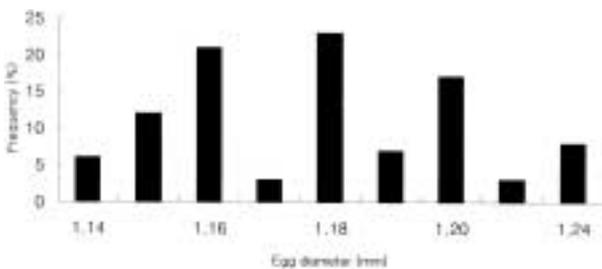


Fig. 2. Frequency distribution of egg diameter of *Takifugu pardalis* (Temminck et Schlegel).

Table 1. Egg development of *Takifugu pardalis* (Temminck et Schlegel)

Times of after fertilization	Fig. 3	Characters
	A	Fertilized egg
45 min.	B	Formation of blastodisc
2 hr.	C	2 cells
3 hr.	D	4 cells
5 hr.	E	8 cells
7 hr.	F	16 cells
9 hr.	G	32 cells
14 hr.	H	Morular stage
17 hr.	I	Blastula stage
30 hr.	K	Gastula stage
41 hr.	L	Formation of embryonic body
70 hr.	M	Formation of optic vesicles
85 hr.	N	Formation of lens on the optic vesicles
130 hr.	O	Formation of heart (heart beat 114~117 times/min.)
205 hr.	P	Hatching began

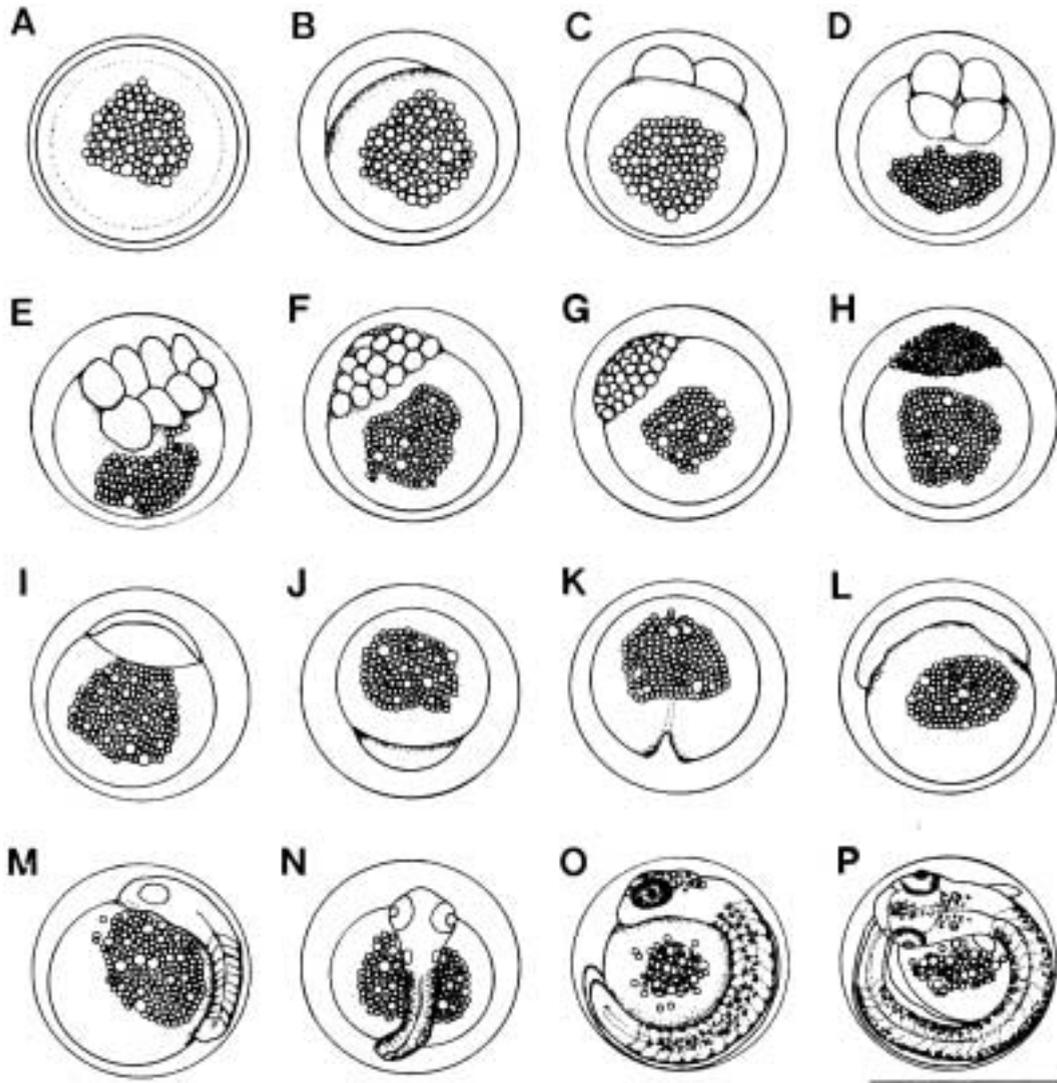


Fig. 3. Egg developmental stages of *Takifugu pardalis* (Temminck et Schlegel) reared in the laboratory.

A: Fertilized egg; B: Formation of blastodisc, 45 min. after fertilization; C: 2 cells stage, 2 hr.; D: 4 cells stage, 3 hr.; E: 8 cells stage, 5 hr.; F: 16 cells stage, 7 hr.; G: 32 cells stage, 9 hr.; H: Morula stage, 14 hr.; I: Blastula stage, 15 hr.; J: Blastoderm extention and germ ring formation, 20 hr.; K: Gastrula stage, 30 hr.; L: Formation of embryo, 41 hr.; M: Appearance of optic vesicles, 70 hr.; N: Formation of eye lens, 85 hr.; O: Formation of heart, 130 hr.; P: Embryo just before hatching, 205 hr. Scale bar indicate 1.00 mm.

4. 자치어의 형태 발달

1) 전기자어

부화 직후의 자어는 전장 2.92~3.10 mm (평균 3.01 mm, n=20)로 입과 항문이 아직 열려있지 않았고, 전장에 대해 약 1/3정도 되는 크기의 큰 난황을 가지고 있었으며, 난황에는 많은 유구가 있었다. 이 때의 근절은 11~13+14~15 = 25~28개였고, 눈에는 색소포가 착색되어 있었으며, 항문은 전장의 53.00% 지점에 위치하여 몸의 중앙보다 약간 뒷부분에 위치하였다 (Fig. 4A).

흑색소포와 황색소포는 난황의 표면, 가슴지느러미 뒷부분 및 항문 위쪽의 몸통부분에서 점 모양으로 산재해 있었으며, 부화 직후에는 사육수조 내에서 유영하지 않고 있다가, 부화 후 약 1시간째에 간헐적으로 유영활동을 시작하였다.

2) 후기자어

부화 후 3일째의 자어는 전장 3.21~3.28 mm (평균 3.25 mm, n=20)로 아직 소량의 난황을 가지고 있었으며, 난황 위의 유구는 대부분 흡수되어 현저하게 그 수

가 줄어들었다. 항문의 위치는 부화 직후의 자어보다는 약간 앞쪽으로 이동하여 거의 몸 중앙쪽에 위치하였으며, 이 시기에 입이 열리면서 처음으로 먹이를 먹기 시작하였고, 이후 항문이 열리기 시작하였다. 흑색소포는 머리 꼭대기 부분과 배쪽 부분에 점 모양으로 산재되어 있던 것들이 별 모양의 형태로 분포하고 있었다 (Fig. 4B).

부화 후 5일째의 후기자어는 전장 3.79~3.85 mm (평균 3.82 mm, n=20)로 난황은 완전히 흡수되었고, 각 지느러미가 용기되기 시작하여 등지느러미, 뒷지느러미 및 꼬리지느러미의 형태가 구분되기 시작하였으며, 어체의 머리부분이 현저하게 발달하였다. 이 때의 후기자어는 유구가 완전하게 소실되었으며, 소화관이 발달하여 먹이의 섭취활동이 활발해지고, 머리 꼭대기 부분과 배쪽에 피부극이 형성되기 시작하였다. 별 모양 형태의 흑색소포는 머리 부분의 윗쪽, 윗턱 부분, 눈 뒤쪽 아랫부분의 아가미 뚜껑부분, 등지느러미 앞쪽 몸의 윗부분 및 가슴지느러미 뒷쪽의 소화관 부분에 전체적으로 분포하였으며, 황색소포는 소실되었다 (Fig. 4C).

부화 후 7일째 자어는 전장이 4.34~4.38 mm (평균 4.36 mm, n=20)였고, 가슴지느러미 줄기 9~10개가 분화하였으며, 등지느러미 줄기가 분화하기 시작하였다. 각 지느러미가 용기되어 일정한 형태를 유지하였으며, 흑색소포는 윗턱과 아랫턱 부분, 가슴지느러미 앞부분 그리고 등쪽과 배쪽에 점 모양과 별 모양으로 전체적으로 분포하였고, 몸의 중앙부분에는 주로 별 모양의 흑색소포가 산재하였다 (Fig. 4D).

부화 후 15일째 자어는 전장이 7.78~7.90 mm (평균 7.84 mm, n=20)로 머리가 거의 완성되어, 복어류의 전형적인 체형인 구형으로 변하기 시작하였다. 이 시기에는 막상의 지느러미가 전체적으로 분화하여, 각각의 지느러미가 완전하게 분리되었고, 가슴지느러미와 등지느러미에는 11~12개의 줄기, 뒷지느러미는 6개의 줄기가 각각 형성되었으며, 꼬리지느러미는 7개의 줄기로 분화하면서 척색말단이 점차적으로 위로 굽기 시작하였다. 흑색소포는 배부분 아래쪽에 많이 분포하였던 점 모양의 것들이 거의 소실되었고, 별 모양의 것들이 눈 주위와 몸의 등쪽, 배쪽 및 꼬리 부분까지 전체적으로 산재하였으며, 점 모양의 색소포는 눈 주변 및 몸의 등쪽과 꼬리자루 부분에 밀집되어 나타났다 (Fig. 4E).

3) 치어기

부화 후 21일째 개체는 전장이 10.15~10.27 mm (평균 10.21 mm, n=20)로 지느러미 줄기수가 D. 11~12; A. 9; P. 14~15; C. 11~12개로 모두 정수에 달하였으며, 체색이나 반문이 성어와 닮아 치어기로 이행하였다 (Fig. 4F).

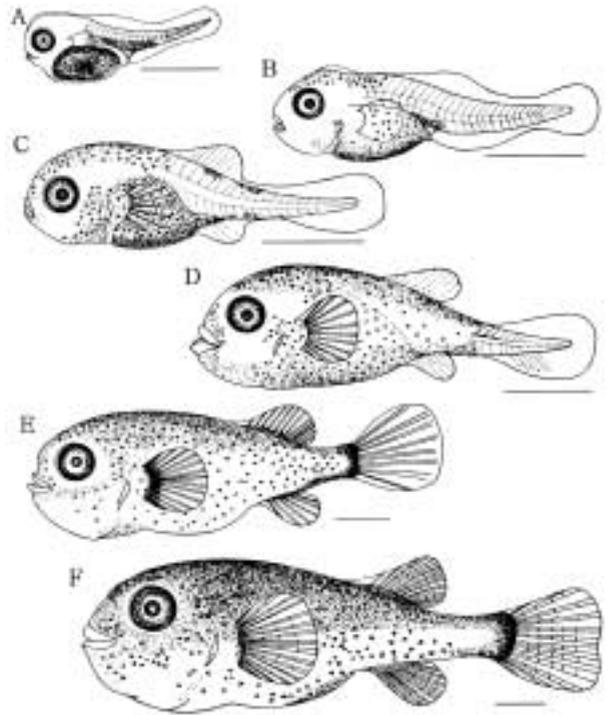


Fig. 4. Morphological development of larvae and juveniles of *Takifugu pardalis* (Temminck et Schlegel) reared in the laboratory. A: Newly hatched larvae, 2.92~3.10 mm (mean 3.01 mm, n=20) in total length (TL); B: Three days after hatching, 3.21~3.28 mm (mean 3.25 mm, n=20) in TL; C: Five days after hatching, 3.79~3.85 mm (mean 3.82 mm, n=20) in TL.; D: Seven days after hatching, 4.34~4.38 mm (mean 4.36 mm, n=20) in TL; E: Fifteen days after hatching, 7.78~7.90 mm (mean 7.84 mm, n=20) in TL; F: Twenty one days after hatching, 10.15~10.27 mm (mean 10.21 mm, n=20) in TL. Scale bars indicate 1.00 mm.

고 찰

한국산 줄복, *Takifugu pardalis* (Temminck et Schlegel)의 산란 시기는 경상남도 통영시 죽도 연안에서 3월 하순부터 5월 중순으로 본 종의 산란은 조간대 상부에서 행하여지는데 반드시 대조시 만조일 때 야간에 산란이 이루어져, 대조시와 깊은 관계를 가진 것으로 보이고, 이러한 종 특이적 습성은 복섬, *T. nihpobles*의 산란이 항시 대조시 2~6일째, 만조시 1~2시간 전에만 이루어지는 것 (Uno, 1955; Oh *et al.*, 2000)과 비슷하였으며, 복어류의 경우 산란은 월령과 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다.

한편, 본 연구에서 관찰된 줄복의 산란 시기는 3월 말

에서 5월 중순인데 비하여 일본의 경우는 山口縣仙崎 연안에서 졸복의 산란기가 2월 하순부터 3월 하순으로 Fujita (1962)는 산란성기가 3월 상순에서 중순까지 단 기간에 이루어진다고 하였다. 우리 나라에서의 산란 시기가 일본에 비해 다소 늦어져 같은 種 사이에도 시기적인 차이를 보였는데, 이러한 산란시기에 대한 지역간의 차이는 본 種 뿐만 아니라 자주복, *T. rubripes*에서도 마찬가지로, 우리 나라에서 자주복의 산란기는 진해만의 거제부근에서 5월 하순부터 6월 초순까지, 전남 돌산읍 동쪽 연안에서는 5월 중순부터 하순까지인데 비하여, 일본의 경우는 자주복의 주산란이 3월 하순부터 5월 상순까지로 지역적으로도 산란 시기에 대한 많은 차이를 나타내는 것 (Fujita, 1962; 古川과 岡本, 1966; 이와 김, 1969)으로 보아 남해 중부지역에서 졸복의 산란시기의 차이는 지역간의 차이로 생각된다.

참복속에 속하는 어류 중 복섬의 산란시기는 5월 하순부터 7월 초순까지, 자주복과 까칠복, *T. stictonotus* (Fujita, 1962)은 5월 중순부터 6월 하순까지, 밀복, *Lagocephalus lunaris* (Fujita, 1962)은 6월 상순에서 7월 하순까지, 국매리복, *T. vermicularis* (Fujita, 1962)은 6월 중순부터 7월 하순까지로 복어과 어류 중에서 졸복의 산란이 대체로 빠르게 이루어지며, 이러한 산란기는 4월부터 5월 사이에 산란하는 까치복, *T. xanthopterus* (Fujita, 1962)과 유사하였다.

본 연구에서 졸복의 산란 장소가 조간대 상부의 자갈과 큰바위가 산재되어 있는 곳이고, 대조시 만조 1~2시간 전에 군집을 이루어 산란하는 것은 일본산 졸복 (Fujita, 1962)과 마찬가지로 산란 장소와 습성이 유사하였으며, 특히 이러한 군집 회유적 산란 습성은 복섬과도 매우 비슷한 경향을 나타내었다 (Katayama *et al.*, 1964; Katayama and Fujita, 1967; Kobayashi *et al.*, 1978; Tsutsumi, 1978; Tsutsumi *et al.*, 1978).

또한 산란시 구애행동은 복섬의 경우 암컷이 방란할 때 수컷이 공격적인 자세로 거칠게 뒤를 쫓거나 암컷의 배부분을 물기도 하여 자극적인 방란 유도를 하는데 반해, 졸복의 경우는 암컷의 생식소가 있는 배쪽을 수컷이 주둥이로 쿡쿡 찌르는 정도로 구애행동을 취하고, 가시복, *Diodon holacanthus* (Sakamoto and Suzuki, 1978)의 구애행동은 여러 마리의 수컷이 코 부분으로 성숙한 암컷의 배 부위를 밀어 암컷이 위쪽으로 상승하게 도와주는 행동을 취하면서 방란을 유도하는 등 각 種마다 산란행위에 차이를 보이므로서 종 특이성을 나타내었다.

까칠복 (Fujita, 1962), 밀복 (Fujita, 1966), 까치복 (Fujita, 1962), 복섬 (Uno, 1955) 등의 난이 투명한데 반하여 졸복의 수정란은 구형으로 자주복 (Fujita, 1962)과

황복, *T. obscurus* (장 등, 1996)의 난과 같이 유백색을 띠며 불투명하였고, 다른 복어류와 같이 많은 소유구 (1.8~61.0 μm)를 가지고 있었다. 한편 졸복의 난은 본 연구 결과, 저면에 침강하여 약간의 부착력을 가진 분리 침성란이었으나, Fujita (1962)의 구조에 부착되어진 난을 채집하거나, 산란상에서 1일 2회 간조시에 6~9시간 썩 노출되는 곳에 부착하여 있었다는 결과와는 차이가 있었다. 졸복 알의 크기는 1.14~1.24 mm (평균 1.19 mm)로 일본산 졸복 (Fujita, 1962)의 경우 난경이 1.00~1.35 mm (평균 1.18 mm)로 본 조사와 비슷한 결과를 나타내었다. 다른 복어류의 난경과 비교해 보면, 자주복 (Fujita, 1962)의 난경은 1.20~1.41 mm, 가시복 (Sakamoto and Suzuki, 1978)의 1.73~1.86 mm, 황복 (장 등, 1996)의 1.45~1.51 mm 보다는 작았고, 까칠복 (Fujita, 1956a)의 난경이 1.06~1.14로 유사하였으며, 복섬 (Oh *et al.*, 2000)의 난경 0.87~0.95 mm, 청복, *Canthigaster valentini* (Stroud *et al.*, 1989)의 0.68~0.72 mm, 국매리복 (Fujita, 1962)의 0.85~0.90 mm, 매리복, *T. snyderi* (Fujita, 1962)의 0.90~1.00 mm, 밀복 (Fujita, 1966)의 0.61~0.70 mm, 까치복 (Fujita, 1962)의 1.00~1.10 mm 보다는 난의 크기가 컸다 (Table 2).

인공 수정된 졸복의 난이 부화에 소요된 시간은 사육수는 18.0 \pm 0.5 $^{\circ}\text{C}$ 에서 수정 후 약 205시간이 소요되었는데, 일본산 졸복 (Fujita, 1962)의 경우 사육수온이 약 22 $^{\circ}\text{C}$ 일 때 부화에 이르는 시간이 약 192시간이 소요되어, 사육수온에 따른 약간의 차이는 있었으나 거의 비슷한 결과를 나타내었다 (Table 2).

우리 나라에서 연구 보고된 복어류인 자주복 (박, 1992) 수정란 부화의 경우 수온 19.3~23.3 $^{\circ}\text{C}$ 에서 131시간이 소요되었고, 복섬 (Oh *et al.*, 2000)은 수온 21.2~22.3 $^{\circ}\text{C}$ 에서 수정 후 146시간이 소요된 것에 비해 난발생에 소요되는 시간이 유사하거나 약간 오래 걸리는 경향을 보였으며, 수온 17.0 \pm 0.5 $^{\circ}\text{C}$ 에서 280시간이 소요되는 황복 (장 등, 1996)에 비해서는 빠르게 나타났었다. 그 밖의 다른 복어류의 부화시간과 비교해 보면 까치복 (Fujita, 1962)이 수온 16.9~17.8 $^{\circ}\text{C}$ 에서 216시간으로 비교적 유사하였고, 또한 흰점복, *T. poecilnotus* (Fujita, 1962)이 수온 13.9~17.6 $^{\circ}\text{C}$ 에서 324시간, 까칠복 (Fujita, 1962)이 수온 20.1~21.0 $^{\circ}\text{C}$ 에서 152시간, 눈불개복, *T. chrysops* (Fujita and Shinohara, 1986)이 수온 17.4~21.8 $^{\circ}\text{C}$ 에서 150시간, 청복 (Stroud *et al.*, 1989)이 수온 23.5 $^{\circ}\text{C}$ 에서 126.5시간 및 매리복 (Fujita, 1962)이 수온 25.2~27.2 $^{\circ}\text{C}$ 에서 100시간이 소요되어 비교적 부화시간이 빠른 편이었으며, 밀복 (Fujita, 1962)의 경우 수온 21.7~24.5 $^{\circ}\text{C}$ 에서 67시간이 소요되어 가장 빠르게 나타

Table 2. Comparison of egg characters in Tetraodontidae fishes

Species	Water temperature (°C)	Time of hatching (hour)	Egg diameter (mm)	References
<i>Takifugu pardalis</i>	17.5~18.5	205	1.14~1.24	Present
<i>T. rubripes</i>	15.0~19.0	222	1.20~1.41	Fujita, 1962
<i>T. niphobles</i>	18.4~23.7	146	0.87~0.95	Oh <i>et al.</i> , 2000
<i>T. chrysops</i>	17.4~21.8	150	1.29~1.38	Fujita and Sinohara, 1986
<i>T. xanthopterus</i>	16.9~17.8	216	1.00~1.10	Fujita, 1962
<i>T. pardalis</i>	11.0~14.0	696	1.15~1.25	Fujita, 1962
<i>T. stictonotus</i>	20.1~21.0	152	1.06~1.14	Fujita, 1962
<i>T. poecilonotus</i>	13.9~17.6	324	1.10~1.28	Fujita, 1962
<i>T. snyderi</i>	25.2~27.2	100	0.90~1.00	Fujita, 1962
<i>T. vermicularis</i>	18.7~19.8	130	0.85~0.90	Fujita, 1962
<i>Lagocephalus lunaris</i>	21.7~24.5	67	0.61~0.70	Fujita, 1966

Table 3. Comparison of larval characters in Tetraodontidae fishes

Species	Water temperature (°C)	Prelarva (mm)	Number of myotomes	Postlarva (mm)	Juvenile (mm)	Days after hatching	References
<i>Takifugu pardalis</i>	17.5~18.5	2.92~3.10	11~13+14~15 =25~28	3.21~3.28	10.21	21	Present
<i>T. rubripes</i>	15.0~19.0	2.72	9+14~15 =22~23	3.00~3.50	9.50	29	Fujita, 1962
<i>T. niphobles</i>	18.4~23.7	2.14	8+14~15 =22~23	2.96~3.20	7.60	28	Oh <i>et al.</i> , 2000
<i>T. chrysops</i>	17.4~21.8	2.83	9+13~14 =22~23	3.79	9.45	24	Fujita and Sinohara, 1986
<i>T. xanthopterus</i>	16.9~17.8	2.65	8+14=22	2.95	-	-	Fujita, 1962
<i>T. pardalis</i>	11.0~14.0	2.50~2.85	9~10+14~15 =23~25	3.20~3.25	11.50	45	Fujita, 1962
<i>T. stictonotus</i>	20.1~21.0	2.60~3.05	8~9+14~15 =22~24	3.35	8.30	23	Fujita, 1962
<i>T. poecilonotus</i>	13.9~17.6	2.82~3.08	8+14=22	3.20~3.44	11.90	43	Fujita, 1962
<i>T. snyderi</i>	25.2~27.2	2.10~2.20	9+12~13 =21~22	2.25~2.60	-	-	Fujita, 1962
<i>T. vermicularis</i>	19.8~20.9	2.00~2.25	8+14~15 =22~23	2.70~2.85	8.85	33	Fujita, 1962
<i>Canthigaster valentini</i>	23.5	1.30~1.40	6+11=17	1.68	-	-	Stroud <i>et al.</i> , 1989
<i>Lagocephalus lunaris</i>	21.7~24.5	1.91	8+13=21	2.40	-	30	Fujita, 1966

났다 (Table 2).

본 연구에서 줄복 부화 직후 자어의 전장은 2.92~3.10 mm (평균 3.01 mm, n = 20)로 일본산 줄복 (Fujita, 1962)의 경우 부화 직후 자어의 전장 2.50~2.80 mm 보다 크며, 자주복 (Fujita, 1962; 이와 김, 1969; 박, 1992)의 자어전장 2.13~2.75 mm, 눈불개복 (Fujita and Shinohara, 1986)의 2.83 mm, 까치복 (Fujita, 1962) 2.65 mm, 복섬 (Oh *et al.*, 2000)의 2.02~2.2 mm, 청복 (Stroud *et al.*, 1989) 1.30~1.40 mm 및 매리복 (Fujita, 1962) 2.10~2.20 mm 보다는 큰 편에 속하였다.

까칠복 (Fujita, 1962) 2.60~3.50 mm, 흰점복 (Fujita, 1962) 2.82~3.08 mm와는 크기가 다소 비슷하였으며, 황복 (장 등, 1996) 3.00~3.54 mm 보다는 작았다.

줄복 부화 자어의 근절수는 10~11+14~15 = 24~26 개로 일본산 줄복 (Fujita, 1962)의 근절수 9~10+14~15 = 23~25개와 유사하였다. 그밖에 눈불개복 (Fujita and Shinohara, 1986)은 9+13~14 = 23~25개, 복섬 (Oh *et al.*, 2000)은 8~9+14~15 = 22~24개, 까치복 (Fujita, 1962)은 8+14 = 22개, 자주복은 10+11 = 21개, 까칠복 (Fujita, 1962)은 8~9+14~15 = 22~24개, 흰점복

(Fujita, 1962)은 $8+14=22$ 개, 매패복 (Fujita, 1962)은 $9+12\sim13=21\sim22$ 개, 밀복 (Fujita, 1966)은 $8+13=21$ 개, 청복 (Stroud *et al.*, 1989)은 $6+11=17$ 개로 이들 복어류 중 졸복의 근절수가 많은 것으로 나타났고, 황복(장 등, 1996)의 25~26개와 유사하였다.

졸복의 부화 직후 자어에 착색되어 있는 흑색소포와 황색소포는 난황의 표면, 가슴지느러미 뒷부분 및 항문 위쪽의 몸통부분에서 점 모양으로 산재해 있었다. 참복屬 어류에서는 특징적으로 부화 자어의 난황이나 항문 주위에 색소포가 분포하고 있으며, 난황이 완전히 흡수될 때까지도 흑색소포가 남아있지만, 예외로 눈불개복 (Fujita and Shinohara, 1986)에서는 흑색소포외의 색소포는 나타나지 않고, 난황 흡수 이후에도 대형의 황색소포는 출현하지 않는다(정, 1977; Fujita and Shinohara, 1986).

부화 자어에 나타나는 흑색소포의 출현 부위는 각 종에 따라 약간씩 다르게 나타나는데 졸복은 등지느러미, 뒷지느러미, 꼬리지느러미의 원기가 출현하는 시기에 등 부분과 배부분에서 전후로 넓게 신장되어 흑색소포가 출현하고, 꼬리자루부분에 흑색소포가 많이 산재되어 있는 것이 특징으로, 치어기에 도달할 때는 그 부분이 더욱 농후해져 꼬리자루 부위와 체측 상부에 다수의 흑색소포가 분포하게 된다. 복섬 (Fujita, 1962; Oh *et al.*, 2000)에서 각 지느러미의 원기가 출현할 때에 꼬리자루 부분에 흑색소포가 출현하는 현상은 졸복과 비슷하지만, 치어기로 이행될 때까지 유지되지 않고, 그 부분의 색소포가 소멸된다는 점이 졸복과 구분되는 특징이다. 자주복(박, 1992)은 꼬리자루 부분에는 흑색소포가 나타나지 않고, 등지느러미와 뒷지느러미 기저부에 흑색소포가 밀집되어 나타나는 것이 다른 점이다.

다른 복어류의 부화 후 치어기에 이르는 기간과 어체 크기를 보면, 자주복(박, 1992)은 부화 후 31일째 전장 8.35 mm, 눈불개복 (Fujita and Shinohara, 1986)은 부화 후 24일째 전장 9.45 mm, 까칠복 (Fujita, 1956a)은 부화 후 23일째 전장 8.30 mm일 때 각각 치어기에 도달하였으며, 까치복 (Fujita, 1962)은 전장 12.00 mm로 가장 작은 크기에 치어기로 도달하는 종이었으며, 황복(장 등, 1996)은 60일 경과 후 23.54~30.12 mm로 난황 흡수와 마찬가지로 치어기에 도달하는 기간이 길고, 어체의 크기도 가장 크게 나타났다.

적 요

경상남도 통영시 죽도 연안에서 1997년 3월부터 1999년 6월까지 졸복의 산란습성을 관찰하였고, 채집된

친어로 부터 수정란을 받아 난발생과정 및 자치어의 형태발달을 관찰한 결과는 다음과 같다.

졸복의 자연산란장은 남해 동부 연안인 경상남도 통영과 거제사이의 거제만 외만에 위치한 섬인 죽도 연안으로 해변은 주로 자갈과 돌로 이루어져 있다. 졸복의 산란장은 저질이 암반이나 큰돌이 많은 연안의 조간대였으며, 산란장의 수심은 0.5~1.0 m였다. 산란 시기는 3월말에서 5월 중순까지였으며, 산란 시기에 성숙한 어미들은 10~30개체씩 군집을 이루어 산란장으로 이동하였고, 산란 행동은 성숙한 암컷을 수컷 여러 마리가 뒤를 쫓다가 암컷이 먼저 방란을 하면 수컷 여러 마리가 동시에 방정을 하는 형태로 수정하였다.

졸복의 수정란은 구형으로 불투명한 분리침성란이며, 난경은 1.14~1.24 mm (평균 1.19 mm, n = 50) 범위였고, 난황에는 작은 유구(1.8~61.0 μ m, n = 50)가 다수 관찰되었다.

수정란은 사육 수온 $18.0\pm0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 수정 후 45분 경과시 배반이 형성되었고, 수정 후 13시간 50분 경과 후에 상실기에 도달하였으며, 수정 후 205시간에 최초의 부화가 일어났다.

부화 직후의 자어는 전장 2.92~3.10 mm (평균 3.01 mm, n = 20)로 입과 항문이 아직 열리지 않았고, 전장에 대해 약 1/3 정도되는 크기의 큰 난황을 가지고 있으며, 난황에서는 많은 유구가 관찰되었다. 이 때의 근절은 11~13+14~15 = 25~28개였다. 부화 후 3일째의 자어는 전장 3.21~3.28 mm (평균 3.25 mm, n = 20)로 난황을 가지고 있었으며, 난황 위의 유구도 대부분 흡수되어 유구수가 현저하게 감소하였다. 부화 후 5일째의 후기자어는 전장 3.79~3.85 mm (평균 3.82 mm, n = 20)의 크기로 난황은 완전히 흡수되어 후기자어로 이행되었으며, 각 지느러미가 용기되기 시작하였다. 부화 후 15일째 자어의 전장은 7.78~7.90 mm (평균 7.84 mm, n = 50)로 두부가 거의 완성되어 체형이 복어류의 전형적인 체형인 구형으로 변화하기 시작하였다. 부화 후 21일째 개체의 전장은 10.15~10.27 mm (평균 10.21 mm, n = 20)로 D. 11~12; A. 9; P. 14~15; C. 11~12개로 각 지느러미가 정수에 달하였으며, 체색이나 반문이 성어와 닮은 치어기로 이행하였다.

감사의 글

본 논문이 나오기까지 많은 도움을 주신 김용익 교수님께 진심으로 감사드리며, 아울러 정년퇴임을 축하드립니다. 앞으로도 계속 건강하시고, 저희들이 연구를 수행

함에 있어 부족한 부분에 대하여 많은 지도 편달을 부탁드립니다. 아울러 이 논문이 완성되기까지 많은 도움을 주신 국립수산진흥원 김운 부장님을 비롯하여, 제주대학교 노섭 교수님, 해양연구소 명정구 박사님, 여수대학교 이원교 교수님께도 감사드립니다.

인 용 문 헌

Fujita, S. 1956a. On the development of egg and prelarvae stage of the puffer *Fugu stictonotus* (Temminck et Schlegel). Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ., 15 : 525 ~ 530.

Fujita, S. 1956b. On the development of egg and prelarvae stage of the puffer *Fugu poecilonotus* (Temminck et Schlegel). Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ., 15 : 531 ~ 536.

Fujita, S. 1962. Studies on the life history and culture of common pufferfish in Japan. Nagasaki Pref. Res. Stn. Rep., (2), pp. 121.

Fujita, S. 1966. Egg development, larval stages and rearing of the puffer, *Lagocephalus lunaris spadiceus* (Richardson). Japan J. Ichthyol, 13(416) : 162 ~ 168.

Fujita, S. and M. Shinohara. 1986. Development of eggs, larvae and juveniles of the puffer, *Takifugu chrysops*, reared in the laboratory. Japan. J. Ichthyol, 33(2) : 186 ~ 194.

Katayama, M. and S. Fujita. 1967. Ecological studies on the puffer, *Fugu niphobles* (Jordan et Snyder) III. On the spawning beaches and spawning times in the inland seaside of Yamaguchi Uni., 16(2) : 55 ~ 61. (in Japanese)

Katayama, M., S. Fujita and Y. Fujioka. 1964. Ecological studies of the puffer, *Fugu niphobles* (Jordan et Snyder) I. On the spawning habit. Bull. Fac. Educ. Yamaguchi Univ., 13(2) : 35 ~ 44. (in Japanese)

Kobayashi, Y., H. Kobayashi, Y. Takei and M. Nozaki. 1978. Spawning habit of the puffer, *Fugu niphobles* (Jordan et Snyder) II. Zool. Mag. (Tokyo), 87 : 44 ~ 55. (in Japanese with English summary)

Oh, S.H., K.H. Han, Y.M. Kim, H.H. Joung, S.S. Shin and Y.U. Kim. 2000. Spawning behavior and early life history of grass puffer, *Takifugu niphobles* (Jordan et Snyder) (Teleostei: Tetraodontidae). Korean J. Ichthyol, 12(4) : 236 ~ 243. (in Korean)

Russell, F.S. 1976. The eggs and planktonic stages of British marine fish. Academic Press, Inc., London, pp. 524.

Sakamoto, T. and K. Suzuki. 1978. Spawning behavior and early life history of the porcupine puffer, *Diodon holacanthus*, in aquaria. Japan. J. Ichthyol, 24(4) : 261 ~ 270.

Stroud, J.G., B. Goldman and W. Gladstone. 1989. Larval development, growth and age determination in the sharpnose pufferfish *Canthigaster valentini* (Teleostei: Tetraodontidae). Japanese J. Ichthyology, 36(3) : 327 ~ 337.

Tsutsumi, T. 1978. Spawning habit of the blowfish, *Fugu niphobles*. Heredity (Iken), Tokyo, 32(7) : 73 ~ 79. (in Japanese).

Tsutsumi, T., T. Oikawa, S. Yanai and E. Fuse. 1978. Spawning habit of the puffer, *Fugu niphobles* (Jordan et Snyder) observed at around of Miura City. Ann. Rep. Keikyu Aburatsubo Mar. Park Aquar., 9 : 45 ~ 53. (in Japanese)

Uno, Y. 1955. Spawning habit and early development of a puffer, *Fugu niphobles* (Jordan et Snyder). Jour. Tokyo. Univ. Fish., 41 : 69 ~ 183.

김용억 · 명정구 · 김영섭 · 한경호 · 강충배 · 김진구. 2001. 한국해산어류도감. 도서출판 한글, pp. 382.

박애진 · 김용억, 1991. 자주복, *Takifugu rubripes* 자치어의 내부골격발달과 성장. 한국어류학회지, 3(2) : 120 ~ 129.

박애진. 1992. 자주복, *Takifugu rubripes*의 卵과 仔稚魚의 形態. 부산수대 석사학위논문. pp. 41.

이병돈 · 김용억. 1969. 韓國產 主要 海產魚類의 種苗生産에 關한 研究, 1. 자주복의 卵發生과 仔魚의 成長에 대하여. 부수대임해연보, 2 : 1 ~ 11.

장선일 · 강희웅 · 한형균. 1996. 황복의 난발생과 자치어 발달. 한국양식학회지, 9(1) : 11 ~ 18.

정문기. 1977. 한국어도보. 일지사, 서울, pp. 727.

한경호. 1995. 참복과 (복어목) 어류의 형태, 골격 및 계통분류학적 연구. 부산수대 박사학위논문, pp. 205.

한경호 · 김용억. 1998a. 참복과 (복어목) 어류 屬의 외부형태적 특징. 한국수산학회지, 31(3) : 309 ~ 316.

한경호 · 김용억. 1998b. 참복과 (복어목) 어류 屬別 脊椎骨과 擔骨 특징. 한국수산학회지, 31(5) : 645 ~ 653.

한경호 · 김용억. 1998c. 한국產 참복屬 (참복과) 魚類의 分類學的 研究. 여수대학교 논문집, 12(2) : 563 ~ 589.

古川厚 · 岡本克. 1966. フグの養殖. 水産増養殖業書. 日本資保協. pp. 76.

本間義治 · 北見建彦. 1980. 佐渡島 (日本海)におけるクサフグの産卵習性. 海洋と生物, 2(3) : 168 ~ 173.

道津喜衛. 1986. 트라프구의 불투명한 卵膜外層을 除去する 簡便法. 水産増殖, 34(2) : 81 ~ 82.