



저염분에서 사육한 황복 *Takifugu obscurus* 생식소의 성숙과 산란

강희웅*, 정의영¹, 강덕영, 박영제, 조기채, 김규희
국립수산과학원 서해수산연구소, 다이브코리아 한국해양환경생태연구소

Gonadal Maturation and Spawning of River Puffer *Takifugu obscurus* Indoor Cultured in Low Salinity

Hee-Woong Kang*, Ee-Yung Chung¹, Duk Young Kang, Young Je Park, Ki Che Jo and Gyu Hee Kim
West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Incheon 400-420, Korea
¹Korea Marine Environment & Ecosystem Research Institute, Dive Korea, Bucheon 42-120, Korea

Monthly changes in the gonadosomatic index (GSI) and hepatosomatic index (HSI) of wild river puffer *Takifugu obscurus*, and water quality environment in spawning area during breeding season were investigated from March 1995 to February 1996. Monthly changes in GSI and HSI of *T. obscurus*, that was cultured in low salinity, were calculated. The external morphology of the gonads, germ cell differentiation during gametogenesis and the reproductive cycle with the gonad developmental phases were investigated by histological analysis. The optimum water quality environment in Ganggyung, Choongcheongnam-do, where is spawning ground of wild *T. obscurus*, was 15-20°C (water temperature) and 0 psu (salinity). Monthly changes in the GSI in females and males reached a maximum in May, and then rapidly decreased. Therefore, it is assumed that in the natural condition the spawning period of wild *T. obscurus* is May to June. In females and males, it showed a negative correlation between the GSI and HSI. The external morphology of the gonads in female and male *T. obscurus*, that was cultured in low salinity, is composed of a pair of saccular structure. Based on monthly changes in the GSI, it is assumed that in female *T. obscurus*, that was cultured in low salinity, spawn from March through May. Therefore, it showed a negative correlation between changes in the GSI and HSI. On the whole, in females and males, it showed a similar pattern between wild and cultured *T. obscurus*. The reproductive cycle with the gonad developmental phases can be classified into successive five stages in females: the early growing stage, late growing stage, mature stage, ripe and spent stage, and recovery and resting stage. In males, that can be divided into successive four stages: the growing stage, mature stage, ripe and spent stage, and recovery and resting stage. In case of wild *T. obscurus*, the spawning period has once a year, however, those cultured in the high water temperature (20-27°C) - low salinity (under 3.3 psu) condition have reproductive characteristics having possibilities of discharge of eggs and sperms year-round as a multiple spawner.

Keywords: *Takifugu obscurus*, GSI, HSI, Maturation, Spawning

서 론

황복 *Takifugu obscurus*은 소하성 생태를 가진 어류로, 산란기에 번식을 위해 강으로 이동하며 부화된 유생은 바다로 이동하기 전 몇개월 동안 강에서 머물며 성장한 후 바다로 내려가는 것으로 알려져 있다(Yang and Chen, 2003; Akira et al., 2005). 이 종은 1993년까지 서해 중부역의 금강 하구에서도 많이 어획되었으며, 산란장인 충남 논산과 강경 지역에 많은 음식점들이 호황을 누리었다. 금강 하구둑 완공 이후 거의 자취를 감추고 있으며, 현재는 경기도 김포, 인천 강화도, 임진강과 한

강 지역에서만 산란기인 4-6월에 볼 수 있는 어종이 되었다(Kang et al., 2006). 황복은 맛과 육질이 뛰어나 중국의 장강(長江)에서 3-4월 어획된 자연산이 하둔(河豚)으로 불리며 물고기의 제왕으로 가격이 가장 높아 kg당 10만원을 호가하고 있으며(Jiang et al., 2000). 우리나라에서도 제주복, 참복 등과 더불어 복어류 중 가장 높은 시장가격에 팔리는 최고급 요리의 물고기에 속한다. 황복은 바다에서 살다가 산란기에만 소상하는 개체를 어획하여 식용으로 하고 있으며 가격이 매우 높아 남획의 우려가 매우 높고 최근 골채채취, 수질오염 등으로 해마다 소상량이 감소하고 있는 실정이다.

황복은 다른 복어류와 달리 염분순치가 쉬워 중국뿐만 아니

*Corresponding author: hwgang@nfrdi.go.kr

라 우리나라에서 담수양식이 광범위하게 진행되고 있다. 어류의 완전양식을 위해서는 그 종의 산란기 등 생식주기가 밝혀져야 하는데 자연산 황복의 경우 산란기에만 제한적으로 어획되기 때문에 어려움이 있다.

지금까지 황복에 대한 연구는 일부 연구자들에 의해 생식생물(Chang et al, 1999a; Chang et al, 1999b), 환경생리(Kim et al., 1996; Kim et al., 1997) 및 발생(Jang et al., 1996; Yang and Chen, 2005), 초기 사육(Kang et al., 2004a), 세포유전학적 연구(Park et al., 1997), 양식산 황복의 배란유도(Yang and Chen, 2003)가 진행되어 왔으나 저염분 사육에 따른 생식소 발달, 산란 등 생식세포의 조직학적 조사는 찾아 볼 수 없다. 조직학적 조사에 의하여 본 종의 생식소 발달 과정이 밝혀지면 양식산 황복의 친어를 이용하여 적기에 산란유도를 통해 인공종묘생산이 가능하며, 멸종위기의 자원량 증대 및 양식용 종묘의 연중 공급이 가능하다.

따라서 본 연구의 목적은 자연산 황복의 산란기 파악과 저염분으로 양식한 황복을 대상으로 조직학적 방법에 의해 암·수 생식소 발달과 산란시기를 명확히 밝혀 황복 양식기술개발에 이용할 수 있는 자료를 제공하는데 있다.

재료 및 방법

산란생태 조사는 황복의 주 산란지역으로 밝혀진 금강의 중하류 지역(산란지: 강경; 금강하구연) 2개소의 수질환경을 1995년 3-6월에 매월 2회에 걸쳐 수온, 염분, 일장을 조사하였다. 자연산 황복(전장 30.7-40.3 cm, 체중 584.0-1,107.0 g)의 산란기를 간접적으로 추정하기 위하여 생식소중량지수와 간중량지수를 1995년 3월부터 1996년 2월까지 매월 3-10마리씩 군산지역에서 어획된 개체를 어민으로부터 구입하여 조사하였다.

저염분 사육실험에 사용한 양식산 황복은 2004년 7월부터 2005년 6월까지 경기도 김포의 육상수조식 양식장에서 사육중이던 개체(전장 21.5±0.3 cm, 체중 216.9±3.3 g)를 매월 30마리씩(총 360개체) 채집하였다. 시료는 전장의 경우 0.1 cm까지, 체중은 0.1 g까지 계속하였고 해부하여 어체로부터 떼어 낸 생식소와 간은 0.01 g까지 계속하였다. 황복의 사육조건은 순환여과식으로 지하수에 천일염을 주기적으로 공급하여 염분농도는 1.8-3.2 psu, 수온은 연중 20.2-27.0°C이었다(Fig. 1). 사육조도는 100 lx 이하로 어둡게 관리하였다.

광학현미경 조직표본 제작은 Bouin 고정액에 24시간 고정하여 파라핀절편법에 의해 5-8 μm 두께로 연속절편을 만들었으며, Hansen's hematoxylin과 0.5% eosin으로 이중 염색하였고, Mallory로 결합조직과 근육조직을 구분하였으며, 생식세포의 형태와 크기 등을 검경·관찰하였다. 산란기를 간접적으로 추정하기 위하여 조사한 생식소중량지수(gonadosomatic index: GSI)는(생식소중량×100)/체중, 간중량지수(hepatosomatic index: HSI)는(간중량×100)/체중, 비만도(condition factor: CF)는(체중×10³)/전장³을 사용하여 계산하였다.

결 과

자연산 황복의 산란지역 내 수온, 염분, 일장의 변화

황복이 산란을 위해 소상하는 금강유역의 하구역과 산란지역(충남 강경)의 수온은 각각 3월 15일에 8.4°C, 9.1°C, 4월 15일에는 14.0°C, 16.5°C, 5월 15일에 16.0°C, 17.5°C, 6월 15일에 17.5°C, 22.5°C로 산란지역의 수온이 조사기간동안 0.7-5.0°C 높게 나타났다. 염분농도는 조사기간 동안 금강 하구연이 16.5-18.2 psu로 약간의 증가양상을 보였으며, 산란지역(강경)은 0psu이었다. 금강유역의 일장 변화는 3월 15일(11.6시간)부터 증가하기 시작하여 산란이 이루어지는 5-6월에는 14.0-14.4시간으로 나타났다(Fig. 2)

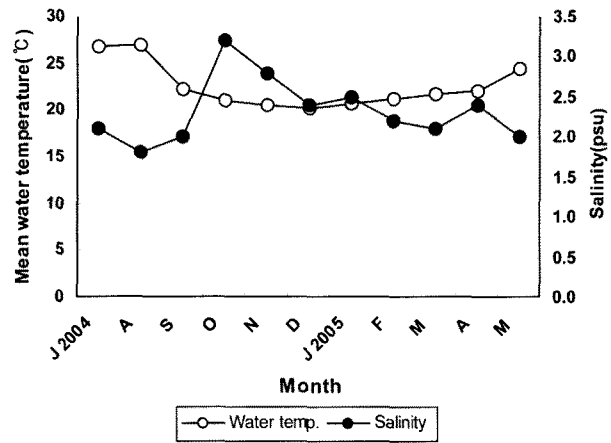


Fig. 1. Monthly changes in mean water temperature and salinity at *Takifugu obscurus* the culture ground from June 2004 to June 2005.

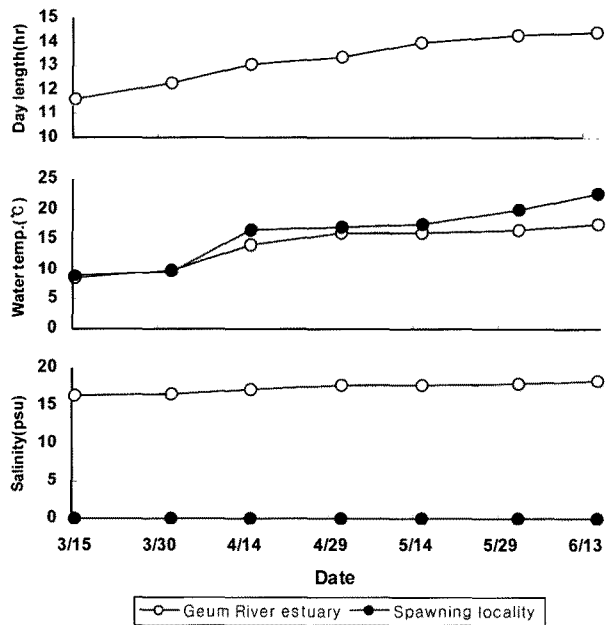


Fig. 2. Monthly changes in water temperature, salinity and day length at *Takifugu obscurus* the spawning ground (○ Keum River estuary dam, ● spawning locality) from March to June 1995.

생식소의 외부형태 및 내부구조

담수 사육으로 성숙한 양식산 황복의 난소는 등쪽의 척추골을 따라 부레를 사이에 두고 약간 기다란 원추형으로 좌·우측 한 쌍의 낭상구조를 이루고 있다. 난소의 크기는 같지 않으며 일반적으로 오른쪽 것이 크고, 많은 난소소엽(ovarian lobule)으로 구성되어 있다. 미성숙기에는 살색, 분홍색을 나타내나 성숙하면 담황색을 띤다. 성숙한 정소는 암컷과 비슷한 기다란 원추형으로, 좌우 크기는 변하지 않고 동일하다. 성숙한 정소는 수 많은 정소소엽(testicular lobule)으로 구성되어 있고, 미성숙기에는 살색을 나타내나 성장함에 따라 유백색을 띤다. 미성숙 개체의 생식소는 육안으로 암·수 구별이 어렵다.

난소와 정소 벽은 결합조직으로 섬유질과 모세혈관으로 구성되어 있다. 난소벽 위쪽은 섬유질과 상식상피가 다수 연결되어 있고, 난소 내부를 펼쳐보면 길고 짧은 크기가 같지 않은 산란판(産卵板)이 형성되어 있으며, 그 위에는 성장발달 중인 크기가 다른 난모세포들이 있다. 정소 벽막은 내부로 펼쳐보면 많은 융막으로 되어있고, 정소를 분리해서 보면 많은 정자가 있으며, 그 안에는 성장발달 중인 정세포도 관찰된다(Fig. 3).

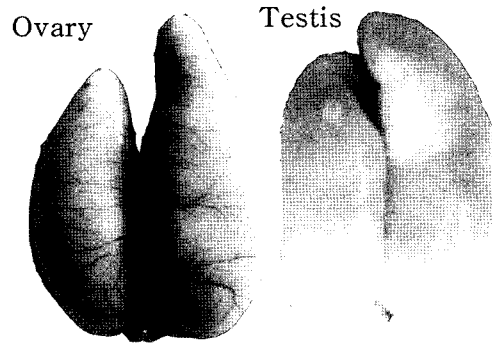


Fig. 3. Reproductive organ of the river puffer *Takifugu obscurus*.

자연산 황복의 생식소중량지수(GSI), 간중량지수(HSI)의 월별 변화

1995년 3월부터 1996년 2월까지 GSI, HSI의 월별 변화는 Fig. 4에 나타내었다. GSI 평균값은 암컷의 경우, 1995년 3월(12.70)부터 급격히 증가하여 5월에 생식소 발달이 최대값(34.55)을 보였으며, 6월(2.35)부터 급격히 낮아져 7, 8월에 최저값(1.50)을 보인 후 9월(2.48)부터 점차 증가하는 양상을 보였다. 수컷의 GSI 월별 변화는 암컷과 비슷하게 3월(10.62)부터 증가하여 5월에 최대값(15.13)을 나타냈으며, 6월(1.40)부터 급격히 낮아져 7월에 최소값(1.00)을 보인 후 9월(2.00)부터 점차 증가하여 암컷과 비슷한 경향을 보였다. GSI의 월별 변화를 근거로 자연산 황복 암·수 개체들은 5-6월에 산란하는 것으로 추정되었다.

HSI의 평균값은 암컷의 경우, 1995년 3월(5.45)보다 4월(5.09)에 약간 낮아졌다가 서서히 증가하여 6월에 최대값(7.05)을 보였으며, 그 이후 점차 낮아지는 경향을 보였고 1996년 2월에 최소값(4.75)을 나타내었다. 수컷의 경우도 HSI 평균값의 변화는 암컷과 비슷한 양상을 보여, 1995년 5월 최소값(4.32)을 보였으며, 6월에 최대값(7.60)을 보인 후 점차 감소하는 경향을 나타냈다. 자연산 황복의 GSI와 HSI 사이에는 음의 상관관계를 나타내었다.

저염분 사육 황복의 생식소중량지수(GSI), 간중량지수(HSI), 비만도(CF)의 월별 변화

2004년 7월부터 2005년 6월까지 GSI, HSI, CF의 월별 변화는 Fig. 5에 나타내었다. GSI 평균값은 암컷의 경우, 2004년 7월(1.1)부터 9월(2.1)까지 서서히 증가하다가 10월부터 점차 낮아져 12월에는 최저값(0.5)을 나타내었다. 2005년 1월(1.2)부터

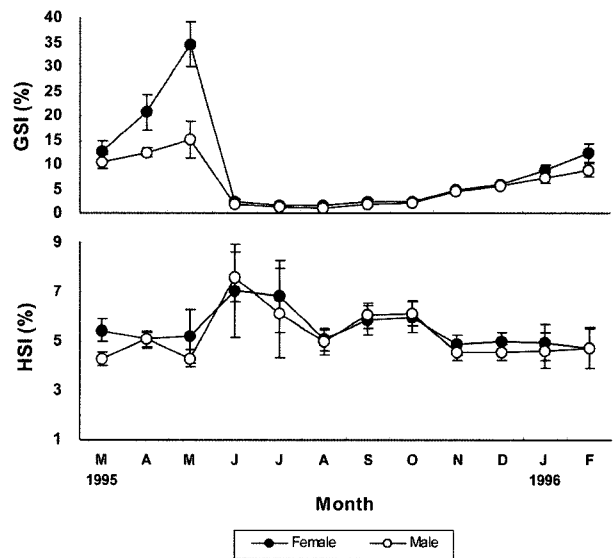


Fig. 4. Monthly changes in the gonadosomatic index (GSI), hepatomatic index (HSI) in wild *Takifugu obscurus* at Geum River estuary dam region. Vertical bars represent standard error.

생식소 발달이 시작되어 4월중 최대값(3.7)에 도달한 후 5월부터 낮아져 6월 중 낮은 값(1.0)을 유지하였다. 수컷의 GSI 월별 변화는 2004년 7월(0.9)부터 9월(10.0)까지 급격히 증가하다가 11월(11.7)까지는 완만한 증가를 보이다가 12월(17.4)에 다시 급격히 증가하였고, 2005년 1월부터는 서서히 증가하여 3월에 최대값(20.6)을 보인 후 4월부터 다시 떨어져 6월에는 7.5를 나타내었다. GSI의 월별 변화를 근거로 실내 수조에서 저염분으로 사육한 황복 암·수 개체들은 3-5월 사이에 산란하는 것으로 추정되었다.

HSI의 평균값은 암컷의 경우, 2004년 7월(10.0)부터 10월(8.6)까지 서서히 낮아지다가 10월(13.5)부터 급격히 증가하여 11월에는 최대값(14.1)을 나타내었다. 12월부터는 서서히 낮아져 2005년 6월에는 8.5를 보였다. 수컷의 경우, HSI 평균값의 변화는 암컷과 비슷한 양상을 보였으며, 2004년 7월(0.4)부터 서서히 증가하였고, 11월에는 최대값(12.2)을 보인 후 12월(7.6)에는 급격히 감소하였고, 2005년 1월(8.0)에 소폭 증가를 보이다가 2월(7.3)부터 6월(7.2)까지 큰 변화를 보이지 않았다.

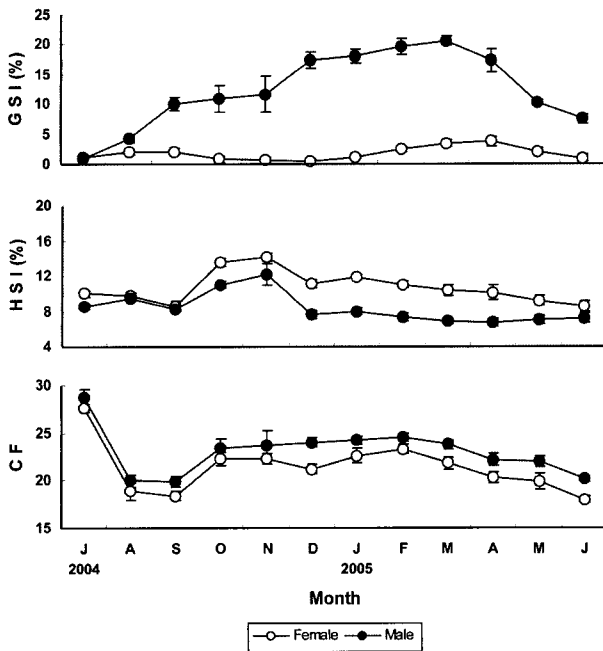


Fig. 5. Monthly changes in the gonadosomatic index (GSI), hepatomatic index (HSI) and condition factor (CF) in indoor cultured *Takifugu obscurus*. Vertical bars represent standard error.

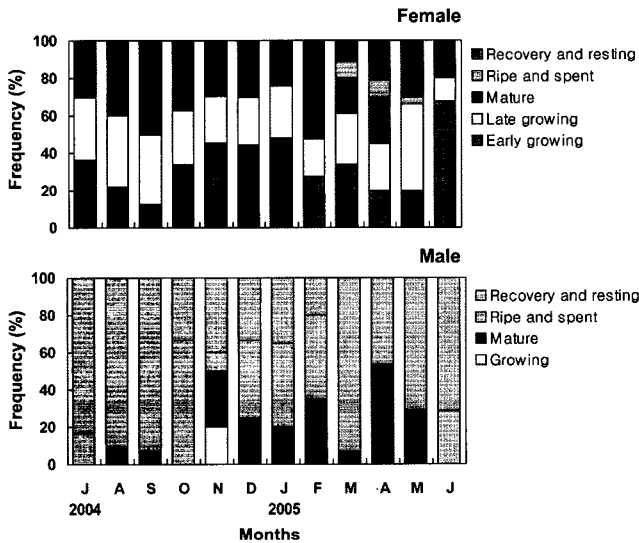


Fig. 6. Monthly changes in frequency of gonadal phases of indoor cultured *Takifugu obscurus*.

CF의 월별 평균값의 변화는 암컷의 경우, 2004년 7월(27.6)에 최대값을 보인 후 9월(18.4)에 급격히 낮아졌으며 10월(22.3)에 다시 증가하여 2005년 2월에 23.3을 보였고 그 이후 서서히 낮아져 6월(18.0)에 최저값을 보였다. 수컷의 경우 암컷과 비슷한 경향을 보였으며, 암컷보다 약간 높은 값을 나타내었다.

생식소발달 단계에 따른 생식주기

실내 사육수조 내에서 저염분(1.8-3.2 psu, 수온 20.2-27.0°C)으로 사육한 황복의 월별 난소 및 정소 내 생식세포 발달의 조

직학적 관찰을 토대로 황복의 생식소발달 단계에 따른 생식주기는 암컷의 경우 초기성장기, 후기성장기, 성숙기, 완숙 및 산란기, 그리고 회복 및 휴지기의 연속적인 5단계로 구분할 수 있었고, 수컷은 성장기, 성숙기, 완숙 및 방정기, 회복 및 휴지기의 연속적인 4단계로 구분되었다(Fig. 6).

난소

1) 초기성장기(early growing stage)

난소가 활성화되기 시작하여 초기성장기의 난소소엽 내에서는 염색인기 난모세포(난경 8.0-13.0 μm)와 주변인기 난모세포(난경 25.0-80.5 μm)들이 출현하였다. 이 시기의 난모세포의 핵 내에는 다수의 인(nucleolus)이 핵막 주변에서 관찰되었고(Fig. 7 A), 난모세포질은 헤마톡실린에 농염되어 초기성장기는 연중 1-12월까지 나타났다.

2) 후기성장기(late growing stage)

후기성장기의 난소소엽 내에서는 난황포기 난모세포(난경 95-235 μm) (Figs. 7B, C) 및 난황과립을 갖는 난황구기 난모세포(난경 345-625 μm)들이 난소소엽을 가득 채우고 있었다(Fig. 7D). 후기성장기도 초기성장기와 마찬가지로 연중 관찰되었다.

3) 성숙기(mature stage)

난소의 발달이 급격히 진행되어 대부분의 난소소엽 내에는 다량의 난황이 축적된 난모세포들, 배포이동기 난모세포와 성숙난모세포(난경 770-950 μm)들로 가득 채워졌다(Fig. 7E). 성숙기의 개체들은 사육수온이 22.2-20.5°C 9월에서 11월과 수온 20.8-22.0°C인 1-4월 사이에 출현하였다.

4) 완숙 및 산란기(ripe and spent stage)

난소소엽 내에는 난경 980-1,150 μm 전후의 완숙난으로 가득 채워져 있고, 이들 완숙난의 난황구는 균질화되었다(Fig. 7F). 일부 완숙난모세포들이 산란되어 배란흔적을 보이는 잔존 여포 조직이 관찰되었다. 완숙난들의 산란은 사육수온이 21.8-24.5°C인 3-5월까지 지속되었다(Fig. 7G).

5) 회복 및 휴지기(recovery and resting stage)

난소소엽은 퇴화·위축되었고, 난소소엽 내의 미방출 난모세포들과 잔존여포들이 퇴화·흡수되었다. 특히 난소소엽 내에서 난황포기 난모세포 이상으로 발달한 모든 난모세포들은 퇴화·위축되었으나, 호염기성 세포질을 가지는 크로마틴인기 및 주변인기의 난모세포들이 난소소엽을 채웠다. 이들 개체들은 연중 장기간에 걸쳐 회복 및 휴지기의 상태를 나타내었다(Fig. 7H).

정소

1) 성장기(growing stage)

성장기 정소소엽 내에는 소수의 정원세포들이 분열증식 중에 있으며, 수많은 정모세포들과 정세포들이 출현하였고, 일부 변태 중인 정자들이 관찰되었다. 정소소엽과 소엽사이의 간질 조직 내에서는 직경이 23.58-30.55 μm인 다수의 Leydig cell(간질세포)들이 출현하여 높은 활성을 보였고, 이 시기에 cyst

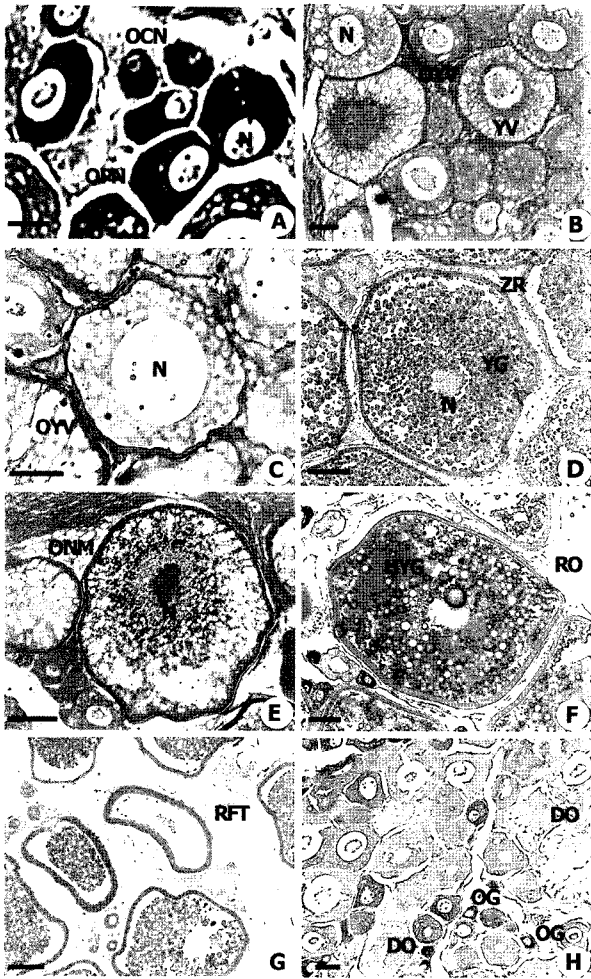


Fig. 7. Photomicrographs of ovarian developmental phases of *Takifugu obscurus* (A-H). A, Section of ovarian lobule in the early growing stage. Note oocytes in the chromatin-nucleolus and perinucleolus stages in the lobules. Scale bar=100 μ m; B-D, Sections of ovarian lobules in the late growing stage. Note oocytes in the yolk vesicle and yolk stage the lobules. Scale bars=200 μ m; E, Section of ovarian lobule in the mature stage. Note oocytes in the nucleus migratory stage and yolk stage; F, G, Sections of ovarian lobules in the ripe and spent stage. Note ripe oocytes and residual follicular tissue in the lobules. Scale bars=400 μ m; H, Section of lobule in the recovery and resting stage. Note several degenerating oocytes and newly formed oogonia. Scale bar=400 μ m. Abbreviations: DO, degenerating oocyte; HYG, homogenized yolk granule; N, nucleus; OCN, oocyte in the chromatin-nucleolus; OG, oogonia; ONM, oocyte in the nucleus migratory stage; OPN, oocyte in the perinucleolus stage; OYV, oocyte in the yolk vesicle stage; RFT, residual follicular tissue; RO, ripe oocyte; YG, yolk granule; YV, yolk vesicle.

cell들도 정원세포와 정모세포들 사이에서 출현하였다(Figs. 8A, B). 성장기의 개체들은 사육수온이 20.2°C인 11월에 나타났다.

2) 성숙기(mature stage)

정소소엽 내에는 소수의 정모세포를 비롯하여 변태 중인 정세포들이 나타나고 있으며 다수의 정자들이 정소소엽을 가득 채웠다(Fig. 8C). 이 때에 정소소엽과 소엽사이의 간질조직 내에 다수의 Leydig cell(직경 42.59-70.71 μ m)들이 출현하고 있

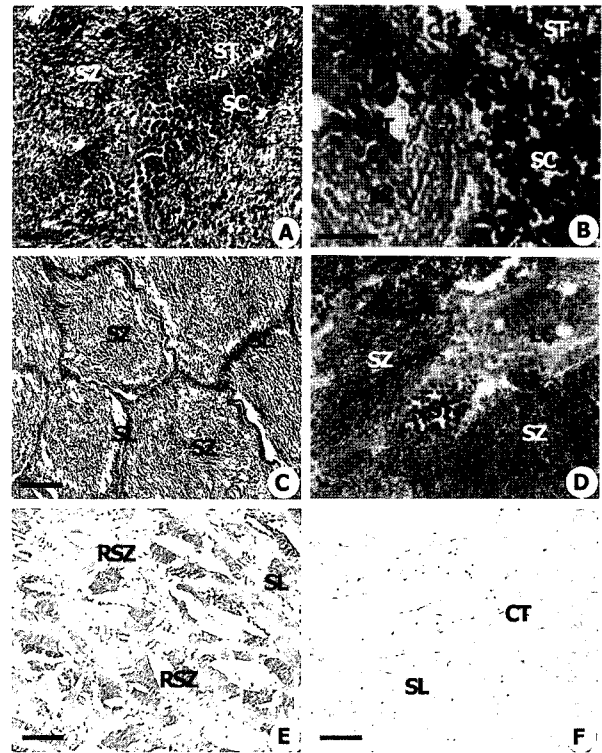


Fig. 8. Photomicrographs of testicular developmental phases of *Takifugu obscurus* (A-F). A, B, Sections of seminiferous lobules in the growing stage. Note a number of spermatogonia, spermatocytes and spermatids in the lobules and Leydig cells in the interstitial tissue. Scale bars=25 μ m; C, Section of seminiferous lobules in the mature stage. Note numerous spermatozoa and spermatids in the lobules. Scale bar=100 μ m; D, E, Sections of seminiferous lobules in the ripe and spent stage. Note a number of spermatozoa and Leydig cells in the interstitial tissue and undischarged spermatozoa in the lobules. Scale bars=100 μ m; F, Section of seminiferous lobules in the recovery and resting stage. Note the connective tissues and some newly formed germ cells. Scale bar=100 μ m. Abbreviations: CT, connective tissue; IST, interstitial tissue, LC, Leydig cell; SC, spermatocyte; SL, seminiferous lobule; ST, spermatid; SZ, spermatozoa; RSZ, residual spermatozoa.

어 활성은 비교적 높게 나타났으며, 정소소엽 내의 cyst cell들도 활성이 비교적 높게 관찰되었다(Fig. 8D). 성숙기 개체들은 사육수온이 27.0-22.2°C인 8-9월과 수온이 20.2-24.5°C인 11-5월에 거의 연중 나타났다.

3) 완숙 및 방정기(ripe and spent stage)

정소소엽 내에는 성숙한 정자들이 가득 채워져 있으며, 일부 정소소엽 내에는 성숙한 정자들이 배정되어 정소소엽 내강은 텅 비어 나타났다(Fig. 8E). 이 시기에 정소소엽과 소엽사이의 간질조직 내 Leydig cell들의 활성이 매우 낮아졌으며, 정소소엽 내의 cyst cell들도 관찰하기 어려웠다. 사육수온이 21.1°C인 9월과 수온 21.8°C인 3월에 복부를 압박하였을 때 일부 유백색을 띤 정자들이 흘러 나왔다.

4) 회복 및 휴지기(recovery and resting stage)

배정을 마친 개체들의 정소소엽 내 잔존 정자들과 정세포들

은 퇴화·흡수되어 정소가 위축되었으며, 결체조직들이 대부분을 채워 정소는 회복기로 접어들었다. 그리고 정소소엽 내 미방정된 잔존 정자들은 장기간에 걸쳐 퇴화·흡수되었고 일부 정소소엽 상피상에 소수의 정원세포들이 출현하였으며, 이 시기에는 Leydig cell들과 정소소엽 내의 cyst cell들도 찾아보기 어려웠다. 사육수온이 21.1-21.2°C인 10-2월까지 장기간에 걸쳐 휴지기 상태를 나타내었다(Fig. 8F).

고 찰

경골어류의 성숙한 난소는 나상형(gymnovarian condition)과 낭상형(crystovarian condition)으로 대별되는데, 황복의 난소는 쥐노래미(Kang et al., 2004b)와 비슷하게 좌우로 분리된 한 쌍의 비대칭 낭상형을 이루고 있다. 난소의 내부구조는 대부분의 경골어류와 같이 다수의 난소소엽으로 구성되어 이곳에서 생식세포들이 발달된다. 정소는 난소와 비슷하게 좌우로 분리된 한 쌍의 낭상형을 하고 있으며, 크기는 비슷하였으며 일반적인 어류의 정소형태인 나상형과 구별되고, 정소의 내부구조는 다수의 정소소엽으로 구성되어 있다

많은 어종은 각각 정해진 시기에 성숙·산란하며, 산란기를 중심으로 하여 생식소 내부구조의 발달 변화가 주기성을 나타내고 있다. 이러한 주기적인 변화는 생식현상의 직접적인 요인이 되는 어체 내의 내분비활동을 주기적으로 변화하게 하는 수온, 광주기 등의 외적 요인에 의해 지배되며 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Asahina and Hanyu, 1983; Shimizu and Hanyu, 1993; Kang et al., 2004b).

온대지역에 서식하는 어류의 생식소 발달은 환경요인 가운데 주로 광주기와 수온의 영향을 많이 받으며 춘계산란형(spring spawner), 춘하계산란형(spring to summer spawner), 춘추계산란형(spring to autumn spawner), 추계산란형(autumn spawner) 및 동계산란형(winter spawner)으로 구분하고 있다(Aida, 1991). 춘하계에 산란하는 황복(Kang et al., 2007), 자주복(Yang et al., 1994), 강도다리(Lim et al., 2007), 고등어(Cha et al., 2002) 등은 회유성 춘하계 산란형에 속한다.

자연산 황복은 수온(17-20°C)이 상승하고 일조시간이 점차 길어지는 4월 이후부터 생식소가 급격히 발달하여 5-6월에 산란기를 이룬다. 황복이 산란시기에 소상하는 급강지류는 수온이 15-20°C로 자연상태에서 산란에 적합한 수온범위는 15-20°C로 사료된다(장 등, 1995). 본 종의 산란기에 관하여 Kang et al.(2007)이 보고한 4월 중순-5월 하순에 대해 GSI 값의 변화를 관련지어 보면 자연계의 산란기는 5-6월로 추정되었다.

육상수조에서 저염분으로 사육한 양식산 황복의 GSI 값은 암컷의 경우, 4월에 최대값(3.7)을 보인 후 5월부터 서서히 낮아졌다. 수컷의 경우는 GSI 값이 3월에 최대값(20.6)을 보였으며 4월부터는 낮아져, 자연산과 비교할 때 양식산 황복의 GSI는 암컷보다 수컷의 생식소 발달이 좀 더 빠른 것으로 나타났

다. 이러한 양상은 양식산 자주복에서도 비슷하게 나타났다(Yang et al., 1994).

본 연구에서 전 사육기간동안 100 lx 이하의 조건으로 육상수조에서 사육했을 때 생식소가 발달하는 것으로 보아 저조도는 성숙에 영향을 미치지 않으며, 양식산 황복의 성성숙과 산란에 영향을 미치는 외적 환경요인은 고수온-저염분임을 알 수 있다.

본 연구의 자연산과 양식산 황복(2년생)에서 공통적으로 보이는 GSI와 HSI 값은 음의 상관관계를 보여 중국의 자연산과 양식산 황복(Jiang et al., 2000)의 결과와 일치하였다. 또한 양식산 자주복의 경우는 2년생에서는 상관관계가 없었으나, 3년생의 경우에는 정상관관계를 보여 복어류의 동종 사이에서도 연령에 따라 차이를 보였다(Yang et al., 1994).

황복은 소하성 어류로 1년생 유어는 연안의 하류에서 성장하여 겨울철에는 월동해역으로 이동한다. 바다에서 성장 발달 후 생식선이 발달하여 성숙하면 하천으로 소상하여 산란하는 산란회유를 한다(陽, 2002). 해수로 사육한 황복의 경우 성숙, 배란은 이루어지나(Kang et al., 2006) 내륙지방의 육상양식장에서 저염분으로 사육한 황복의 성숙에 관해서는 지금까지 연구되어 있지 않았다.

황복은 자연상태에서 1년 중 봄철에 한 번의 산란기를 가지는데 비해, 육상양식장에서는 20.2-27.0°C 수온조건, 저염분(1.8-3.2 psu)으로 사육한 본 연구에서는 암컷의 경우 9-11월, 1-3월에 성숙 개체가 관찰되었고, 수컷의 경우는 연중 성숙한 정소의 발달이 관찰되었다. 이러한 결과로부터 황복은 수온이 20°C 이상, 저염분(3.2 psu 이하)에서 배우자형성, 성숙 및 산란이 일어남을 알 수 있다. Jiang et al.(2000)에 의하면, 자연산 황복의 성숙년령은 수컷이 2-3세, 암컷이 3-4세이며, 생물학적 최소형은 수컷이 체중 245 g(체장 18.8 cm)이며, 체중 350 g에서는 모든 개체가 성숙, 산란하여 재생산에 가담한다. 암컷의 경우는 생물학적 최소형이 체중 341 g(체장 19.6 cm)이며, 450 g 이상의 개체에서 모두 성숙하는 것으로 보고되어 있다. 본 연구에서 실험에 사용한 암·수의 모든 개체들은 2년생(평균체중 217 g)으로 자연산의 성숙개체에 비해 크기가 훨씬 작았다. 양식산 황복이 3년생(평균체중 350 g 이상) 이상이 되면 암·수의 모든 개체가 성숙개체로 될 것으로 판단된다.

초기발달중인 난모세포의 시기(크로마틴인기 또는 주변인기)에는 쟁뿔어(*Boleophthalmus pectinirostris*)에서와 같이 RNA 물질들이 세포질 내에 많이 분비되어 해마톡실린으로 염색할 경우 광학현미경상에서 난모세포들이 암청색을 나타내는 것으로 사료된다(최, 2007).

황복의 정소에서 발달중인 정소소엽과 소엽사이에 존재하는 간질조직 내에서는 전형적인 steroid계 호르몬생성 분비세포인 Leydig cell이 나타나고 있다. 이와 같은 현상은 쟁뿔어(최, 2007), 쥐노래미(강, 2002)에서도 쉽게 관찰되어 이들 Leydig cell이 testosterone 호르몬 분비로 정자형성과정 중 감수분열에 관여하고 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 황복의 Leydig cell

은 썩뚫어(최, 2007)와 같이 정자형성이 일어나기 시작하는 성장기부터 이들 세포수가 점차 증가하기 시작하여 성숙시기 바로 직전에 Leydig cell의 수가 증가하여 유사한 경향을 보였다.

황복은 자연산의 경우, 연중 한 번의 산란기를 가지나 육상 양식장에서 고수온(20-27°C) - 저염분(3.3 psu 이하) 조건에서 사육하면 연중 다회 산란, 방정이 가능한 생식 특성을 가지는 것으로 간주되었다.

요 약

본 연구는 황복 *Takifugu obscurus*를 대상으로 1995년 3월부터 1996년 2월까지 자연산 황복의 생식소중량지수(GSI), 간중량지수(HSI)의 월별 변화와 산란기 동안 산란지역의 수질환경을 조사하였다. 또한 2004년 7월부터 2005년 6월까지 육상수조에서의 저염분 사육에 따른 GSI, HSI의 월별 변화를 조사하였고, 생식소의 외부 형태, 배우자 형성과정 중 생식세포 분화, 생식소발달 단계에 따른 생식주기를 광학현미경으로 연구하였다. 자연산 황복의 산란장소인 충남 강경의 적정 수질환경은 수온 15-20°C 염분은 0 psu였으며, GSI 월별 변화는 암컷과 수컷에서 5월에 최대값을 보인 후 6월에 급격히 낮아져 자연상태에서 황복의 산란기는 5-6월로 추정되었다. 자연산 황복의 GSI와 HSI 사이에는 음의 상관관계를 나타내었다. 저염분으로 사육한 황복 암컷과 수컷의 생식소 외부형태는 좌·우측에 한 쌍의 낭상구조를 이루고 있다. GSI의 월별 변화를 근거로 실내 수조에서 저염분으로 사육한 황복의 암·수 개체들은 3-5월에 산란하는 것으로 추정되었으며, 자연산과 비슷하게 GSI와 HSI 사이에는 음의 상관관계를 보였다. 생식소발달 단계에 따른 생식주기는 암컷에서 초기성장기, 후기성장기, 성숙기, 완숙 및 산란기, 회복 및 휴지기의 5단계로 구분할 수 있었고, 수컷에서는 성장기, 성숙기, 완숙 및 방정기, 회복 및 휴지기의 연속적인 4단계로 구분되었다.

황복은 자연산의 경우, 연중 한 번의 산란기를 가지나 육상 양식장에서 고수온(20-27°C) - 저염분(3.3 psu 이하) 조건에서 사육하면 연중 다회 산란, 방정이 가능한 생식 특성을 가진다.

감사의 글

본 연구는 국립수산과학원 경상연구과제(어류양식 기술개발, RP-2008-AQ-108)의 일환으로 진행되었음에 감사드립니다.

참고문헌

- Aida, 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleostes. Bull. Inst. Zool. Acad. Sin. Monograph, 16, 173-187.
- Akira, K., D. Hiroyuki, N. Tsutomu, S. Harumi and H. Shigehisa, 2005. *Takifugu obscurus* is a euryhaline fugu species very close to *Takifugu rubripes* and suitable for studying osmoregulation. BMC Physiology, 5, 1-11.
- Asahina, K. and I. Hanyu, 1983. Role of temperature and photoperiod in annual reproductive cycle of the rose bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 49, 61-67.
- Cha, H. K., Y. M. Choi, J. H. Park, J. Y. Kim and M. H. Sohn, 2002. Maturation and spawning of the chub mackerel, *Scomber japonicus* Houttuyn in Korean waters. J. Kor. Soc. Fish. Res., 5, 24-33.
- Chan, Y. J., H. K. Lim, Y. J. Chang and H. S. Kim, 1999a. Sperm cryopreservation and fertility of post-thaw sperm in river puffer, *Takifugu obscurus*. J. Aquacult., 12, 1-5.
- Chang, Y. J., H. K. Han, Y. J. Chang, H. S. Kim and H. T. Hur, 1999b. Physico-chemical properties and cold storage of river puffer (*Takifugu obscurus*) milt. J. Kor. Fish. Soc., 32, 243-246.
- Jang, S. L., H. W. Knag and H. K. Han, 1996. Embryonic, larval and juvenile stages in yellow puffer, *Takifugu obscurus*. J. Aquacult., 9, 11-18.
- Jiang, R. L., C. W. Zhang, Y. K. Ding, C. B. Chen and M. F. Li, 2000. Artificial propagation of nontoxic *Takifugu obscurus* cultured in pond. J. Fish. China, 24, 539-545.
- Lim, H. K., S. G. Byun, J. H. Lee, S. U. Park, Y. C. Kim, H. K. Han, B. H. Min and B. Y. Lee, 2007. Sexual maturity and reproductive cycle of starry flounder *Platichthys stellatus* cultured indoor tank. J. Aquacult., 20, 212-218.
- Kang, H. W., J. H. Lee and J. Y. Lee, 2006. Manual of river puffer aquaculture. NFRDI, 194 pp.
- Kang, H. W., D. Y. Kang, K. C. Cho, J. H. Lee, K. J. Park and J. H. Kim, 2004a. Effect of food and salinity on larval growth and survival of the river puffer, *Takifugu obscurus*. J. Aquacult., 17, 221-227.
- Kang, H. W., E. Y. Chung and J. H. Kim, 2004b. Sexual maturation and spawning characteristics in greenling, *Hexagrammos otakii* of the west coast in Korea. J. Aquacult., 17, 30-38.
- Kang, H. W., K. B. Shim, D. Y. Kang, K. C. Jo, K. C. Song, J. H. Lee, H. I. Song, S. G. Son and Y. J. Cho, 2007. Sitological quality evaluation of cultured and wild river puffer, *Takifugu obscurus* (Abe). J. Aquacult., 20, 147-153.
- Kim, W. S., J. K. Jeon, S. H. Lee and H. T. Huh, 1996. Effects of pentachlorophenol(PCP) on the oxygen consumption rate of the river puffer fish *Takifugu obscurus*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 143, 9-14.
- Kim, W. S., J. M. Kim, S. K. Yi and H. T. Huh, 1997. Endogenous circadian rhythm in the river puffer fish *Takifugu obscurus*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 153, 293-298.
- Park, I. S., H. S. Kim, E. S. Kim, J. H. Kim and C. W. Park, 1997. Cytogenetic analysis of river puffer, (Teleostomi : Tetraodontiformes). J. Kor. Fish. Soc., 30, 408-412.
- Shimizu, A. and I. Hanyu, 1993. Factors involved in the development of and decline on photoperiodism as it relates to the gonadal activity of a spring-spawning bitterling, *Acheilognathus tabira*. J. Exp. Zool., 265, 134-143.
- Yang, S. G., Y. D. Lee and C. K. Pyen, 1994. A study on the gonadal maturation and egg-stripping by hormone treatments of tiger puffer, *Takifugu rubripes*. J. Aquacult., 7, 189-205.

- Yang, Z. and Y.F. Chen, 2003. Induced ovulation using LHRHa in anadromous obscure puffer *Takifugu obscurus* cultured entirely in freshwater. *Fish Physiol. Biochem.*, 29, 323–326.
- Yang, Z. and Y.F. Chen, 2005. Effect of temperature on incubation period and hatching success of obscure puffer *Takifugu obscurus* (Abe) eggs. *Aquaculture*, 246, 173–179.
- 강희용, 2002. 쥐노래미 *Hexagrammos otakii*의 번식생태 및 자치어의 성장. 군산대학교대학원 박사학위논문, 134 pp.
- 장선일, 한형균, 강희용, 서형철, 이권혁, 김문환, 라시환, 1995. 황복 種苗生産 技術開發. 서수연사업보고서, pp. 292–316.
- 최기호, 2007. 한국산 쟁뿔어, *Boleophthalmus pectinirostris* (Linnaeus)의 번식생태 및 유전학적 분석. 군산대학교대학원 박사학위논문, 128 pp.
- 陽淸發, 2002. 河豚養殖與利用. 金盾出版社, 200 pp.

원고접수 : 2008년 9월 24일

심사완료 : 2008년 11월 7일

수정본 수리 : 2008년 11월 8일