

한국 서해산 병어, *Pampus argenteus*의 번식생태

정의영 · 배주승¹ · 강희웅² · 이황복¹ · 이기영^{3,*}

다이브코리아 한국해양환경생태연구소, ¹국립수산과학원 목포수산사무소
²국립수산과학원 서해수산연구소, ³군산대학교 해양생명과학부

Reproductive Ecology of the Silver Pomfret *Pampus argenteus* on the West Coast of Korea

Ee-Yung Chung, Joo Seung Bae¹, Hee-Woong Kang², Hwang Bok Lee¹ and Ki-Young Lee^{3,*}

Korea Marine Environment & Ecosystem Research Institute, Dive Korea, Bucheon 420-120, Korea

¹Mokpo Fisheries Office, National Fisheries Research & Development Institute, Mokpo 530-831, Korea

²West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Incheon 400-420, Korea

³School of Marine Life Science, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

ABSTRACT : Reproductive ecology of the silver pomfret, *Pampus argenteus* were investigated by histological observations and morphometric data. Samples were collected by the stow net at the coastal area of Jaun-Do, Muan-gun, Korea, from January to December, 2006. *P. argenteus* is dioecious, the ovary is composed of many ovarian lobules, showing a pair of saccular structure, and the testis is composed of many seminiferous lobules, showing a pair of lobular structure. From February (growing stage) to September (after spawning), monthly changes in the gonadosomatic index, hepatosomatic index, and condition factor in females and males showed similar patterns with the gonad developmental phases. Judging from the results of their indice, it is assumed that spawning in females and males occur from May to July. The reproductive cycle can be classified into five successive stages in females: early growing stage (February to March), late growing stage (March to April), mature stage (March to July), ripe and spent stage (May to July), and recovery and resting stage (July to February); in males, the cycle can be divided into four successive stages: growing stage (February to April), mature stage (March to June), ripe and spent stage (May to July), and recovery and resting stage (July to February). According to the frequency distributions of egg diameters in the breeding season, *P. argenteus* is presumed to be spring-summer spawning species and polycyclic species to spawn 2 times or more during one spawning season. Number of total eggs in absolute fecundity were proportional to body length and body weight, respectively. Number of total eggs in absolute fecundity per body weight were also proportional to the body length, but if the increase of body weight considerably increased, rather total eggs in relative fecundity decreased with the increase of body weight. Percentage of first sexual maturity of *P. argenteus* were over 50% in females and males of 12.1 to 15.0 cm in body length, and 100% for fishes over 18.1 cm in length. Therefore, both sexes were regarded to be sexually mature at one year of age.

Key words : *Pampus argenteus*, Reproductive cycle, Spawning frequency, First sexual maturity.

요 약 : 2006년 1월부터 12월까지 한국 서해안 무안군 자운도 주변해역에서 안강망으로 채집한 병어, *Pampus argenteus*를 대상으로 조직학적 조사 및 형태 측정에 의해 번식 생태를 조사하였다. 병어는 자웅이체이며, 난소는 한 쌍의 낭상구조를 하고 있으며, 수많은 난소소엽으로 구성되어 있다. 정소는 엽상구조를 하고 있으며, 수많은 정소소엽으로 구성되어 있다. 암·수 개체들의 생식소중량지수(GSI), 간중량지수(HSI), 비만도지수(CF) 값들의 월별 변화는 2월(초기 성장기)부터 8월(회복기 시작)까지는 생식소 발달단계와 아주 유사한 경향을 보이며 변화하였다. 이들 지수값의 변화로부터 암컷과 수컷 개체들의 방란, 방정은 5월부터 7월까지 일어난 것으로 추정되었다.

* 교신저자: 전북 군산시 미룡동 산 68번지, 군산대학교 해양생명과학부, (우) 573-701, (전) +82-63-469-1832, (팩) +82-63-465-3917, E-mail: leekiy@kunsan.ac.kr

병어의 생식주기는 암컷의 경우, 초기성장기(2~3월), 후기성장기(3~4월), 성숙기(3~7월), 완숙 및 산란기(5~7월), 회복 및 휴지기(7~2월)로 구분되었다. 수컷의 경우는 성장기(2~4월), 성숙기(3~6월), 완숙 및 방정기(5~7월), 회복 및 휴지기(7~2월)로 구분되었다. 월별 난경 조성 빈도 분포 변화로 보아 병어의 산란빈도수는 한 산란기 중 한 개체가 적어도 2회 또는 그 이상 산란하는 다회 산란종으로 추정되는 춘하계 산란종이다. 체장당 절대포란수의 총 난수는 체장이 커짐에 따라 절대포란수의 총 난수는 증가되는 경향을 보였으며, 상대포란수(cm 당)의 총 난수도 체장이 커짐에 따라 상대포란수(cm 당)의 총 난수가 증가되는 경향을 보였다. 체중당 절대포란수의 총 난수는 체중이 증가됨에 따라 절대포란수의 총 난수는 증가되는 경향을 보였다. 그러나 체중당 상대포란수(g 당)의 총 난수는 체중이 증가됨에 따라 증가되나, 일정 체중 이상으로 커지면, 오히려 체중 증가에 따라 상대포란수의 총 난수가 감소하는 경향을 보였다.

군성숙도 50%에 해당하는 체장은 12.1~15.0 cm(만 1세 이상에 해당)이었고, 군성숙도 100%에 해당하는 체장은 18.1~21.0 cm(만 3세에 해당)이었다. 따라서 병어는 만 1세 이상이 되면 전체 개체의 50%가 성숙에 도달하여 재생산(산란)에 가담할 수 있는 것으로 추정되었다.

서 론

병어, *Pampus argenteus* (Euphrasen)는 농어목 셋돔아목 병어과(Stromateidae)에 속하는 난해성, 외양성 어류로서 우리나라 남서해, 일본 남부, 동인도제도 등에 분포하고 있다(Kim et al., 2005). 현재 우리나라에서는 병어과에 병어와 덕대(*Pampus echinogaster*)가 보고되고 있다. 우리나라에서 보고되어 있는 2종도 그 외부 형태가 거의 유사하여 그동안 병어로 취급되어 왔다. 최근 병어 자원은 횡감으로 미식가들에게 크게 각광을 받아 소비가 날로 증가되고 있으며, 이들의 수요를 충족시키기 위해 무분별한 남획이 일어나 자원이 날로 고갈되고 있다. 이로 인해 본 종은 자원량 증대를 위해 자원 증식이 필요한 양식 대상으로 주목을 받게 되었으며, 최근에는 자원 증식을 위한 증·양식 시험사업이 현재 진행되고 있다. 지금까지 병어과 어류에 관한 연구·보고로는 덕대(*P. echinogaster*)에 관해서는 성성숙에 관한 연구(진, 1990), 형태학적 연구(Abe & Kosaki, 1964; Yamata, 1976; Yoo et al., 1985)와 덕대의 자원학적 연구(이, 1989; Basilewsky, 1952; Headrich, 1967; Higashikawa et al., 1984; Yoo et al., 1985)가 있으며, 병어에 관한 연구로는 형태학적 연구(Dwivedi et al., 1976)와 생태학적 분류(Higashikawa & Masumitsu, 1974; Higashikawa & Masumitsu, 1976; Higashikawa et al., 1981)가 보고되어 있을 뿐이다. 이와 같이 병어의 증양식 기술 개발을 위한 번식 생태학적 연구는 우리나라와 일본, 중국 등 외국에서도 연구가 제대로 되어 있지 않아 매우 미흡한 실정이다. 비록 우리나라에서 병어과 어류인 덕대와 병어의 성성숙에 관한 일부 연구가 단편적으로 이루어져 있으나, 연구 결과의 해석이 미흡하여 기초자료로써 활용하기 어렵다. 병어의 생식 생태 연구 중 생식주기의 연구

는 본 종의 정확한 산란기와 가입시기를 추정할 수 있으며, 연령 사정을 할 수 있는 기초자료가 되어 생식생태 연구를 위해서는 매우 중요하다(Lee et al., 2003; Kang et al., 2004; Choi, 2007). 그리고 본 종의 산란기를 간접적으로 추정하기 위해서는 생식소중량지수와 비만도 지수를 파악할 필요가 있으며(Kim & Lee, 1994; Lee et al., 2003; Kang et al., 2004; Jun, 2003), 한 산란기 중 산란횟수를 파악하기 위해서는 난소 내 난경 조성을 월별로 조사할 필요가 있다(Chung et al., 1991; Lee et al., 2003; Kang et al., 2004; Choi, 2007). 그리고 개체군의 생식잠재능을 파악하기 위해서는 체장당 및 체중당 절대포란수와 상대포란수를 조사할 필요가 있다(Chung & Kim, 1994; Lee et al., 2003; Kang et al., 2004). 또한, 병어 개체군이 재생산에 가담하기 시작하는 체장의 크기(또는 연령) 및 어획 금지 크기를 파악하기 위해서는 조직학적으로 생식소 조직절편의 표본을 현미경 하에서 상세하게 조사할 필요가 있다(Lee et al., 2003; Kang et al., 2004; Choi, 2007).

따라서 본 연구의 목적은 병어의 생식소 외부 형태 및 내부 구조, 생식소 발달에 따른 생식주기, 산란기 난소 내 난경 조성 및 군성숙도를 조직학적 방법에 의해 조사하였고, 생식소중량지수(Gonadosomatic index), 간중량지수(Hepatosomatic index), 비만도지수(Condition Factor)의 월별 변화와 포란수의 형태 측정 자료를 얻어 증양식 기술개발 및 합리적인 자원 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 조사하였다.

재료 및 방법

1. 재료 채집

본 연구에 사용된 재료는 2006년 1월부터 12월까지 우리



Fig. 1. Map showing the sampling area.

나라 서해안의 무안군 자운도 주변해역에서 안강망으로 월 100개체씩 채집하여 조직학적 조사에 사용하였다(Fig. 1).

2. 생식소중량지수(Gonadosomatic Index, GSI)

생식소중량지수는 산란기를 간접적으로 추정하기 위해 다음과 같이 계산하였다.

$GSI = \text{생식소중량} / \text{전중량} \times 100$ 의 식에 의해 계산하였다.

3. 간중량지수(Hepatosomatic Index, HSI)

간은 생식소 발달을 위해 영양을 공급하는 기관으로 알려져 있다. 생식소 발달 성숙 및 산란시기에 체중에 대한 간중량이 차지하는 비율을 알기 위해 조사하였다.

$HSI = \text{간중량} / \text{전중량} \times 100$ 의 식에 의하여 계산하였다.

4. 비만도지수(Condition Factor, CF)

비만도지수 계산은 Fulton's condition factor에 의해 구하였다.

$CF = \text{전중량} \times 10^3 / \text{체장}^3$ 의 식에 의해 계산하였다.

5. 난경 조성 빈도에 의한 산란빈도수 조사

번식시기 중 월별 난경 조성 조사는 난소 내 성숙숙이 일어나는 4~8월까지 조직 절편을 광학현미경 하에서 검경하여 난경 조성 빈도를 구하여 난경 mode를 기초로 한 산란기 중 한 개체가 1회만 산란하는 종인지 2회 또는 그 이상 산란하는 종인지 산란빈도를 조사하였다.

6. 포란수(절대포란수 및 상대포란수) 조사

육안 관찰에서 산란 흔적이 있는 것으로 판단되는 것은 제외시키고, 성숙상태가 육안적으로 식별되는 개체의 난소만을 이용하였다. 이들 난소 내의 난의 분리는 Gison 용액(Love and Westphal, 1981)에 담근 다음 Dry oven에 넣어 60~70°C의 온도를 유지하면서 난을 완전히 분리하여 습중량법 즉, 난소 중량/난소의 일부 중량(Bagenal and Braum, 1978)의 식을 사용하여 포란수를 계산하였다.

체장별, 체중별 절대포란수를 측정하였고, cm 당 및 g 당 상대포란수를 측정하여 생식잠재력을 파악하려 조사하였다.

7. 군성숙도 조사

개체군의 군성숙도(%) 측정은 산란 전인 4월부터 산란이 끝나는 8월까지 체장 6.4~32.6 cm의 총 291개체(암컷 143개체, 수컷 148개체)의 생식소 표본을 대상으로 영구표본을 제작한 다음, 조직학적 관찰에 의해 방란·방정에 참여한 개체와 참여하지 못한 미성숙 개체를 조사하였고, Volodin et al.(1974)과 Hayashi(1972) 등에 의해 개체별로 각각의 성숙도를 판정하였다. 개체군의 암, 수 전 개체수 중 50% 또는 그 이상이 재생산에 가담하는 개체의 크기(또는 연령)와 전 개체(100%)가 재생산에 가담하는 크기를 조사하였다. 여기서 병어 개체군의 50% 이상이 성숙에 도달하여 재생산에 가담하는 크기를 즉, 군성숙도 50%인 개체군의 크기를 생물학적 최소형(군성숙도 50%) 크기로 판정하였다.

결 과

1. 생식소의 외부형태 및 내부구조

병어의 생식소는 병어과 덕대와 같이, 척추골과 복강의 내장 사이에 위치하고 있다. 그리고 병어의 난소와 정소의 외

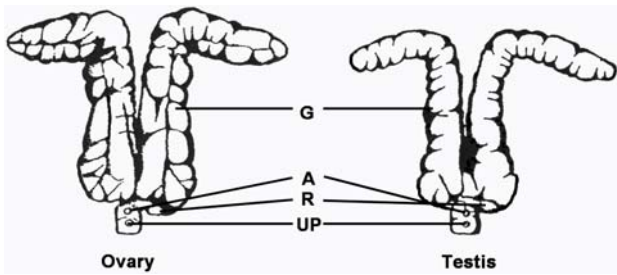


Fig. 2. Ventral view of reproductive organs of the silver pomfret, *Pampus argenteus*. A, anus; G, gonad; R, rectum; UP, urogenital pore.

부형태는 좌우비상칭이나 거의 좌우상칭에 가깝다. 생식소의 외부 색깔에 의한 암·수의 구별은 미성숙 개체일 때에는 암·수가 모두 백색을 띠고 있어 구별이 어려우나, 성숙해지면 암컷은 황색, 수컷은 유백색을 띠어 성의 구분이 용이하게 된다. 병어 생식소의 내부구조도 덕대 생식소의 외부형태와 내부구조가 유사하였다(Jin, 1990).

난소는 혈관이 많이 분포된 결체섬유와 근섬유로 구성된 외막으로 이루어진 낭상형을 이루고 있으며, 난소의 구조는 수많은 난소소낭들로 구성되어 있다. 정소 역시 수많은 정소소엽으로 구성되어 있고, 수질부에는 각 소엽과 수정세관이 연결되어 있다. 이들 수정세관들은 수정관과 연결되어 있으며, 이들은 다시 비노생식공과 연결되어 있다(Fig. 2).

2. 생식소중량지수(Gonadosomatic Index, GSI)의 월별 변화

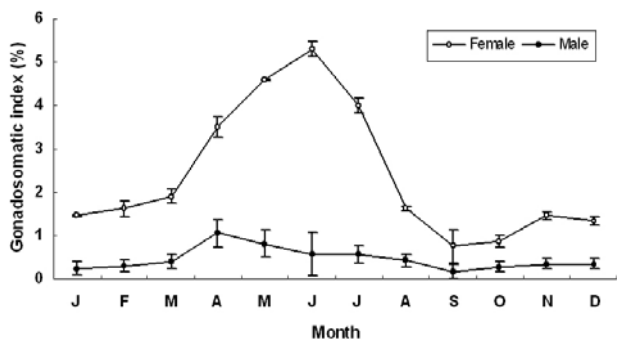


Fig. 3. Monthly changes in the gonadosomatic index of the silver pomfret, *Pampus argenteus* from January to December, 2006. Circles and bars indicate the mean and the standard deviation.

2006년 1월부터 12월까지 병어의 생식소중량지수(GSI)의 조사 결과는 Fig. 3에 나타난 바와 같이, 암컷의 경우, GSI의 월별 평균값의 변화는 1~3월까지의 낮은 값을 보였고, 4월(GSI, 3.51)부터 급격히 증가하기 시작하여 6월에 최대값(GSI, 5.31)을 나타내었다. 그 후 7~8월까지 산란을 하여 GSI 값이 급격하게 감소되었으며, 9~12월까지의 2.0 이하의 낮은 값을 보였다.

수컷의 경우도 GSI의 월별 평균값 변화를 보면, 1~3월까지의 1.0 이하의 낮은 값을 보인 후 4월에 급격히 증가되어 최대값(GSI, 1.06)을 보였다. 그 후 5~8월까지 서서히 감소되었고, 9~12월까지 0.4 이하의 낮은 값을 나타내었다.

3. 간중량지수(Hepatosomatic Index, HSI)의 월별 변화

2006년 1월부터 12월까지 병어의 간중량지수(HSI)를 조사한 결과는 Fig. 4와 같다. 병어 HSI의 월별 평균 변화는 암컷의 경우, 1~2월까지 평균 0.92~1.00의 낮은 값을 나타내었다. 그러나 3월(HSI, 1.10)부터 HSI 값이 증가하기 시작하여 6월에 최대값(HSI, 1.28)을 나타내었다. 그 후 산란을 마친 8월에 HSI 값은 평균 1.18을 보인 후 10~12월까지 낮은 값을 보였다.

수컷의 경우도 암컷과 같이, 1~2월까지의 0.90 전후의 비교적 낮은 값을 나타내었으나, 3월부터 서서히 증가하기 시작하여 7월에 최고값(HSI, 1.26)을 나타내었다. 방정을 마친 8월에 1.10으로 약간 감소되었으며, 그 후 9~12월까지 계속하여 낮은 값을 보였다.

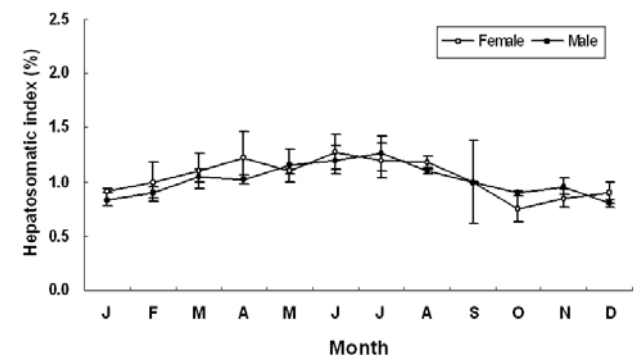


Fig. 4. Monthly changes in the hepatosomatic index of the silver pomfret, *Pampus argenteus* from January to December, 2006. Circles and bars indicate the mean and the standard deviation.

4. 비만도지수(Condition Factor)의 월별 변화

2006년 1월부터 12월까지 병어의 비만도지수를 조사한 결과는 Fig. 5에 나타난 바와 같이, 암컷의 경우, 비만도지수의 월별 변화는 1~3월까지의 비만도 값이 비교적 낮은 39.5~41.0의 범위를 보였다. 그 후 수온이 점차 상승하는 4월에는 아주 높은 비만도지수(CF, 42.7)를 나타내었고, 산란이 시작되는 5~8월까지 감소되었으며, 그 후 9월부터 다시 증가되기 시작하여 11~12월에는 아주 높은 값을 보였다.

수컷의 경우도 암컷의 경우와 같이, 1~3월까지 비만도 값은 36.5~37.6의 낮은 값을 나타내었고, 그 후 4월에 높은 값(CF, 37.8)을 보인 후, 5~8월까지 서서히 감소되는 경향을 보였다. 그리고 방정을 마친 후인 9월부터 서서히 다시 증가되기 시작하여 11~12월에는 아주 높은 값(CF, 39.0)을 보였다.

5. 생식소 발달 단계에 따른 생식주기

생식세포들의 형태 및 구조를 조직학적으로 조사하여, 이를 토대로 생식소 발달 단계에 따른 생식주기를 편의상 암·수에 따라 구분하였다. 암컷 난소의 경우는 초기성장기, 후기성장기, 성숙기, 완숙 및 산란기, 회복 및 휴지기의 연속적인 5단계로 구분되었고, 수컷 정소의 경우는 성장기, 성숙기, 완숙 및 산란기, 회복 및 휴지기의 연속적인 4단계로 구분되었으며, 이들 생식소 발달단계는 일정한 주기성을 나타내었다(Fig. 6).

1) 암컷

(1) 초기성장기(Early Growing Stage)

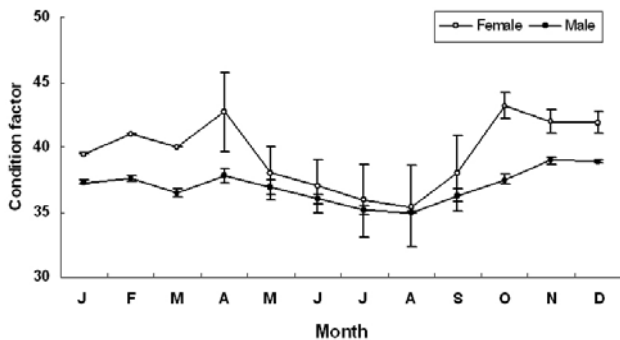


Fig. 5. Monthly changes in the condition factor of the silver pomfret, *Pampus argenteus* from January to December, 2006. Circles and bars indicate the mean and the standard deviation.

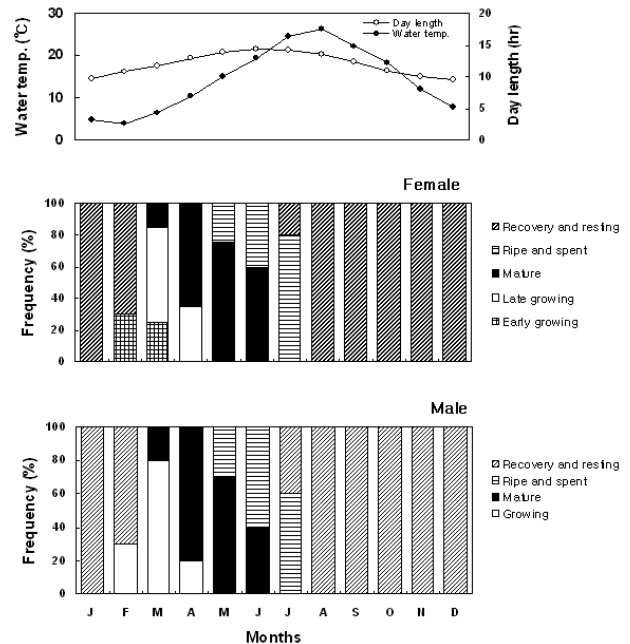


Fig. 6. Water temperature, day length and frequency of gonadal phases female and male *Pampus argenteus* from January to December, 2006.

난소는 2월부터 일부 개체에서 활성화되기 시작하여 3월에는 난원세포, 크로마틴 인기 난모세포와 주변 인기 난모세포들이 난소소엽 내에서 출현하였다. 이들 난모세포의 난경은 대략 100~200 μm 정도이었다. 이러한 초기 성장 중인 난모세포들은 세포질이 헤마톡실린에 농염되어 나타났으며, 핵막을 따라 다수의 인들이 분포하였다(Fig. 7A). 초기성장기의 개체들은 수온이 낮은 2~3월에 출현하였다(Fig. 6).

(2) 후기성장기(Late Growing Stage)

난소소엽 내의 난모세포들이 성장하여 난경이 300 μm 전, 후가 되면 난세포질의 염색성은 호염기성에서 호산성으로 바뀌고 세포질의 피질층에 공포를 갖는 난황포기 난모세포가 나타나기 시작하였으며, 방사대가 출현하였다. 그리고 난경이 400~500 μm 전후가 되면 난막에는 에오신에 짙게 염색되는 방사대가 발달하였고, 세포질 내에는 제 1차, 제 2차, 제 3차 난황구를 함유하는 난황구기 난모세포(난경 600~700 μm)들이 출현하였다(Figs. 7B, C). 후기성장기의 개체들은 수온이 상승하기 시작하는 3~4월에 출현하였다. 후기

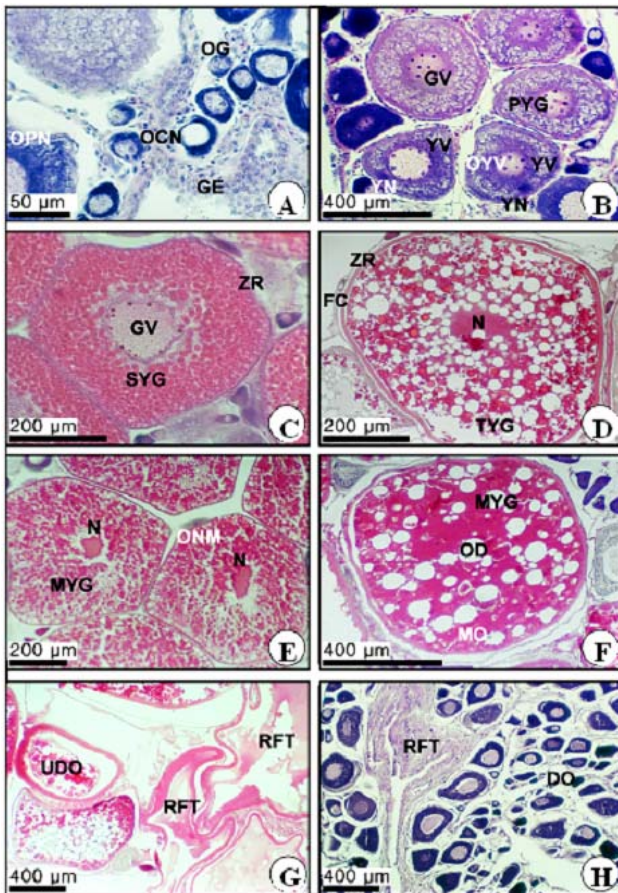


Fig. 7. Photomicrographs of ovarian developmental phases of *Pampus argenteus* (A~H). A, Section of the lobule in the early growing stage; B, C, Sections of the lobule in the late growing stage; D, E, Sections of the lobules in the mature stage. F, G, Sections of lobules in the ripe and spent stage; H, Sections of ovarian lobules in the recovery and resting stage. Abbreviations: DO, degeneration oocyte; FC, follicle cell; GE, germinal epithelium; GV, germinal vesicle; MYG, mature yolk granule; MO, mature oocyte; N, nucleus; OCN, oocyte in the chromatin nucleus stage; OD, oil droplet; OG, oogonium; OPN, oocyte in the perinucleolus stage; ONM, oocyte in the nucleus migratory stage, OYV, oocyte in the yolk vesicle stage, PYG, primary yolk granule; RFT, residual follicle tissue; SYG, secondary yolk granule; TYG, tertiary yolk granule; UDO, undischarged oocyte; YN, yolk nucleus; YV, yolk vesicle; ZR, zona radiata.

성장기의 개체들은 수온이 점차 높아지는 3~4월에 출현하였다.

(3) 성숙기(Mature Stage)

난소소엽 내 출현하는 난모세포들은 중앙의 핵막이 거처화되면서 배포상의 핵은 동물극 쪽으로 이동하였으며, 세포질 내에는 성숙난황구가 축적되었다. 이 때 성숙란의 난경의 크기는 대략 700~800 μm 전, 후이었다(Figs. 7D, E). 성숙기의 개체들은 3월부터 일부가 출현하기 시작하여 수온이 점차 증가되고 일장이 증가되는 4~7월까지 나타났다.

(4) 완숙 및 산란기(Ripe and Spent Stage)

이 시기의 난소소엽 내에는 소수의 초기 난모세포들과 700~800 μm 전, 후의 완숙난모세포들로 채워져 있다. 난황구들은 서로 융합하여 더욱 커다란 성숙난황구를 이룬 후 부분적으로 균질화되는데, 이들 사이에는 공포상의 유구들이 산재한다. 그리고 산란으로 일부 개체들은 방란 흔적을 보였다(Figs. 7F, G). 완숙 및 산란기 개체들은 고수온-장일장인 5월 하순부터 7월 말까지 출현하였다(Fig. 6).

(5) 회복 및 휴지기(Recovery and Resting Stage)

산란을 마친 후, 난소소엽 내에는 난황포기 및 난황구기 난모세포들의 퇴화·붕괴, 흡수가 일어났다. 이 시기에 난황포기 난모세포보다 더 발달된 난모세포들은 점차 퇴화·붕괴 또는 흡수되는 양상을 보였다(Fig. 7H). 회복기의 개체들은 7월 말부터 시작되어 이후 8~11월까지 미방출된 난들의 퇴화 흡수가 일어났으나, 난원세포와 초기발달중인 난모세포(크로마틴 인기 난모세포와 주변 인기 난모세포)들은 붕괴되지 않은 상태로 12~2월까지 휴지기의 개체들이 출현하였다. 회복 및 휴지기의 개체들은 7~2월까지 장기간에 걸쳐 출현하였다.

2) 수컷

(1) 성장기(Growing Stage)

일부 개체들의 정소는 활성화되기 시작하였으며, 정소소엽 내에는 분열증식 중인 정원세포들이 발달하여 정모세포로 되고 cyst(포낭)을 형성하였다. 이후 포낭 내의 정모세포들이 성숙분열하여 정세포들이 되었으며, 일부 변태 중인 정자들이 포낭(cyst) 내에서 출현하였다. 이 시기에 정소소엽과 소엽 사이에는 Leydig 세포가 다수 출현하였다(Figs. 8A, B). 성장기의 개체들은 수온이 낮은 2~4월 사이에 출현하였다.

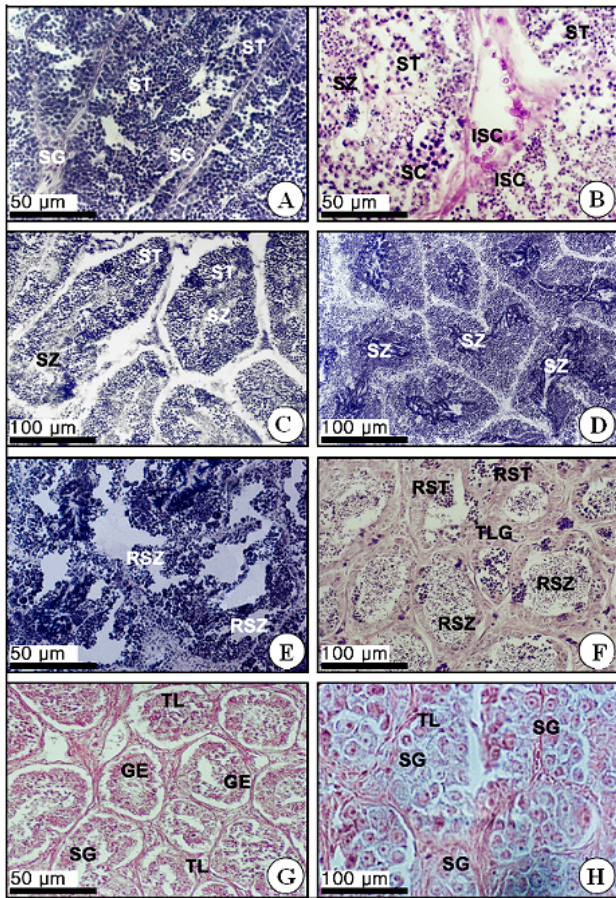


Fig. 8. Photomicrographs of testicular developmental phases of *Pampus argenteus* (A~H). H, A, B, Sections of the lobules in the growing stage; C, Sections of the lobules in the mature stage; D, E, Sections of lobules in the ripe and spent stage; F, G, H, Sections of the lobules in the recovery and resting stage. Abbreviations: GE, germinal epithelium; ISC, interstitial cell (Leydig cell); RST, residual spermatid; RSZ, residual spermatozoa; SC, spermatocyte; SG, spermatogonium; ST, spermatid; SZ, spermatozoon; TL, testicular lobule; TLG, testicular lobule germinal epithelium.

성장기의 정소를 갖는 개체들은 2~4월 사이에 출현하였다.

(2) 성숙기(Mature Stage)

정소가 좀 더 성숙하여 지면 정소소엽 내에는 소수의 정모세포군, 다수의 정세포군과 변태를 마친 수 많은 정자들이 포낭(cyst)을 가득 채운다(Fig. 8C). 성숙기의 정소를 갖는 개체들은 3~6월 사이에 출현하였다.

(3) 완숙 및 방정기(Ripe and Spent Stage)

완숙 및 배정기에는 대부분의 개체에서 정자들이 정소소엽 내에 가득채워져 있으며, 또한 정자들이 배정되어 정소소엽 내 포낭은 텅 비어 나타났다(Figs. 8D, E). 이러한 완숙 및 배정기의 정소를 갖는 개체들은 수온이 높아지고 장일장인 5~7월 사이에 출현하였다(Fig. 6).

(4) 회복 및 휴지기(Recovery and Resting Stage)

이 시기에 정소소엽들은 퇴화·위축되고 소엽 본래의 형태를 찾아 볼 수 없을 정도로 수 많은 정자들이 흐트러져 있고 잔존 미방출 정자들이 퇴화·흡수되었다. 반면, 결체조직이 출현하여 이들의 빈 칸을 채우며(Figs. 8F, G), 이윽고 정원세포들이 재배치되면서 휴지기로 접어든다(Fig. 8H). 이러한 회복 및 휴지기의 정소를 갖는 개체들은 7~2월까지 장기간에 걸쳐 출현하였다.

6. 난소 내 난경 조성 및 산란횟수

난소 내 난의 성숙 및 산란빈도(횟수)를 알기 위해 4월부터 8월까지 채집된 개체에 대하여 난소 내 난경 조성을 조사하였다(Fig. 9). 성숙 이전의 4월 개체에서는 500 μm 전후

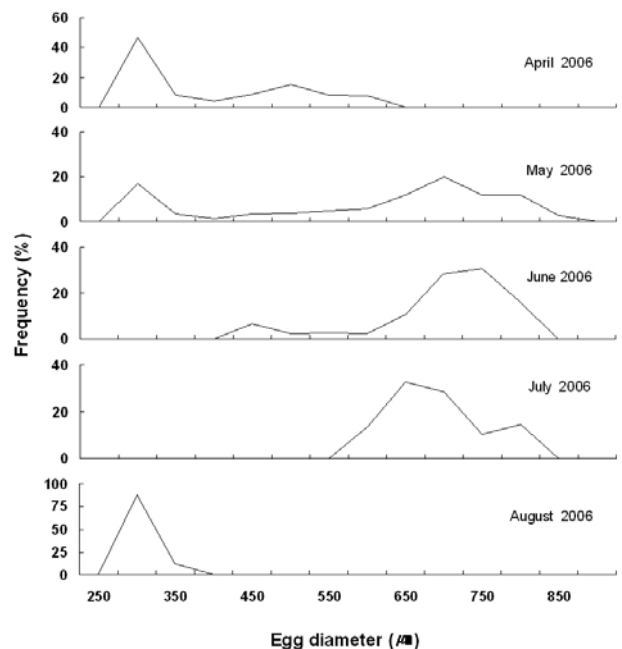


Fig. 9. Frequency distribution of egg diameters in female *Pampus argenteus* during the breeding season.

의 소형 난경 mode가 주된 균을 형성하였으며, 5월에 이르면 700 μm 와 800 μm 전, 후의 난경 mode가 2개의 대형 난경 mode로 발달되었다. 6월에는 이들 mode가 더욱 발달하여 700 μm 군과 800 μm 전, 후의 군으로 변화되었으며, 주 산란기인 7월에는 700 μm 전, 후의 난경 mode와 분리된 800 μm 전, 후의 대형 난경 mode가 배란된 상태로 관찰되었다. 이후 8월이 되면 800 μm 전, 후의 대형 난경 mode가 사라져 없어졌으며, 300 μm 와 350 μm 전, 후의 소형 난경 mode 만이 나타났다.

7. 포란수

병어의 번식 잠재력을 파악하기 위하여 군성숙도 50% 이상인 체장 12.6~32.4 cm인 총 59개체를 채집하여 체장과 체중별로 각각 7등급과 6등급으로 나누어 측정된 결과는 Table 1과 2에 나타낸 바와 같다.

1) 체장당 절대포란수와 상대포란수

Table 1에 나타난 바와 같이, 절대포란수의 총 난수는 체장 12.6~15.0 cm에서는 평균 29,746 eggs이었고, 체장 24.1~

27.0 cm에서는 98,443 eggs이었으며, 체장 30.1~32.4 cm에서는 평균 134,977 eggs를 포란하고 있어 체장이 커짐에 따라 절대포란수의 총 난수는 증가되는 경향을 보였다. 상대포란수(cm 당)의 총 난수는 체장 12.6~15.0 cm에서 평균 1,126 eggs이었고, 체장 24.1~27.0 cm에서 4,123 eggs이었으며, 체장 30.1~32.4 cm에서는 평균 4,786 eggs를 포란하고 있어 체장이 커짐에 따라 상대포란수(cm 당)의 총 난수는 증가되는 경향을 보였다.

2) 체중당 절대포란수와 상대포란수

Table 2에 나타난 바와 같이, 절대포란수의 총 난수는 체중 400.6~600.0 g에서 평균 67,584 eggs이었고, 체중 1,000.1~1,200.0 g에서는 130,128 eggs이었다. 그리고 체중 1,400.1~1,588.4 g에서는 평균 154,438 eggs를 포란하고 있어 체중이 증가됨에 따라 절대포란수의 총 난수는 증가되는 경향을 보였다. 중량당 상대포란수(g 당)의 총 난수는 체중 400.6~600.0 g에서 평균 146 eggs이었고, 체중 1,000.1~1,200.0 g에서는 151 eggs이었다. 그리고 체중 1,400.1~1,588.4 g에서는 평균 144 eggs를 포란하고 있어 체중이 증가됨에

Table 1. Composition of absolute fecundity and relative fecundity by body length of the pomfret, *Pampus argenteus*

Body length (cm)	Absolute fecundity	Relative fecundity (per cm)	Number
12.6~15.0	29,746(23,461 ~ 32,284)	1,126(1,048~1,564)	4
15.1~18.0	46,122(39,906 ~ 60,654)	3,326(3,276~3,423)	5
18.1~21.0	66,475(57,268 ~ 72,424)	3,516(3,318~3,645)	5
21.1~24.0	74,396(70,058 ~ 80,492)	3,804(3,668~3,988)	6
24.1~27.0	98,443(82,305 ~ 104,216)	4,123(3,944~4,212)	5
27.1~30.0	114,591(105,528 ~ 128,792)	4,408(4,315~4,604)	5
30.1~32.4	134,977(130,468 ~ 138,489)	4,786(4,634~5,016)	4

Table 2. Composition of absolute fecundity and relative fecundity by body weight of the pomfret, *Pampus argenteus*

Body weight (g)	Absolute fecundity	Relative fecundity (per g)	Number
400.6~600.0	67,584(52,846 ~ 78,569)	146(132~160)	5
600.1~800.0	88,483(80,243 ~ 99,785)	158(151~163)	4
800.1~1,000.0	128,346(121,478 ~ 134,236)	162(159~166)	5
1,000.1~1,200.0	130,128(125,369 ~ 134,468)	151(148~154)	4
1,200.1~1,400.0	139,426(135,264 ~ 141,434)	148(140~154)	4
1,400.1~1,588.4	154,438(150,129 ~ 158,763)	144(136~149)	3

Table 3. Body length at first sexual maturity of *Pampus argenteus* from April to August 2006

Body length (cm)	Female		Male	
	Number	Maturity (%)	Number	Maturity (%)
6.4~9.0	16	0.0	14	0.0
9.1~12.0	16	18.8	18	22.2
12.1~15.0	18	55.6	16	56.3
15.1~18.0	22	90.9	25	92.0
18.1~21.0	20	100.0	18	100.0
21.1~24.0	16	100.0	15	100.0
24.1~27.0	19	100.0	21	100.0
27.1~30.0	14	100.0	18	100.0
30.1~32.6	2	100.0	3	100.0
Total	143		148	

따라 일정 체중 이상으로 커지면, 오히려 체중 증가에 따라 상대포란수의 총 난수가 감소하는 경향을 보였다.

8. 군성속도

병어 개체가 어느 체장의 크기(또는 연령)부터 성숙에 도달하여 재생산에 참여하기 시작하는가를 알기 위해서 군성속도를 조직학적으로 조사하였다. Table 3에 나타난 바와 같이, 암·수의 개체 크기별 군성속도(%)는 체장 9.1~12.0 cm 이하에서는 각각 18.8%와 22.2%를 나타내었고, 체장 12.1~15.0 cm에서는 암·수 각각 55.6%와 56.3%를 나타내어 암·수 모두 군성속도 50% 이상을 나타내었다. 그리고 체장 18.1 cm 이상에서는 암·수 모두 군성속도 100%를 나타내었다. 따라서 병어의 생물학적 최소형 크기는 군성속도 50%인 체장 12.1~15.0 cm로 판명되었다.

고 찰

1. 생식소의 형태 및 내부 구조

일반적으로 어류의 난소 형태는 나상형(gymnovarian condition)과 낭상형(cyst-ovarian condition)으로 구분(Hoar, 1957) 되는데, 병어의 난소 형태는 짱뚱어(Chung et al., 1991; Choi, 2007), 웅어(이 등, 2003), 쥐노래미(강 등, 2004), 돌가자미(Jun et al., 2006) 등과 같이 낭상형에 속하며, 좌우비상칭이다. 그리고 난소의 내부 구조는 경골어류에서와 같이 다수의 난소소엽으로 구성되어 있다.

정소의 형태는 엽상형(lobule type)과 관상형(tubule type)으로 구분되는데(Nagahama, 1983), 병어의 정소 형태는 엽상형에 속하며 좌우비상칭이다. 정소의 내부 구조는 수 많은 포낭구조의 정소소엽으로 구성되어 있고, 소엽 중앙에 강을 이루고 있어 구피(Billard et al., 1984)에서 볼 수 있는 관상형과는 상이한 형태를 갖는 엽상형에 속한다.

2. 생식세포들의 발달 및 관련 세포들과 조직의 역할

암컷의 경우, 난형성 과정에서 초기 발달 중인 난모세포들(크로마틴 인기 및 주변 인기 난모세포)의 세포질이 호염기성에서 성장함에 따라 호산성으로 변화되어 가는 현상을 볼 수 있다. 이것은 초기 발달 중인 난모세포들에서는 앞으로 단백질을 합성하기 위해 다수의 인이 출현하여 세포질 내에 RNA 핵산물질이 다량 생성되어 이들 핵산물질과 호염기성 염료인 헤마톡실린이 반응하게 되면 짙은 청색을 나타내게 되나, 그 후 RNA 핵산물질의 분비가 감소되는 대신 난황 축적을 위해 난황전구물질 생성이 왕성하여지면 점차 호산성 염료인 에오신에 강하게 염색되어 난모세포질이 붉게 호산성으로 변하게 되는 것으로 판단된다(Kim & Lee, 1984; Chung & Kim, 1994; Lee et al. 2003; Kang et al., 2004; Choi, 2007). 방란된 난소에서 일부 미방란된 잔존 난모세포들(완숙란, 난황구기 및 난황포기난모세포들)은 퇴화·흡수되고 있는 시기에 난모세포를 둘러싸는 여포조직들이 난모세포의 퇴화·흡수에 관여하고 있는 것으로 보고(Kim & Lee, 1984; Chung & Kim, 1994; Lee et al., 2003;

Kang et al., 2004)되어 있는데, 본 종에서도 이와 같은 현상이 나타나는 시기에는 난모세포들에서 세포질이 퇴화 붕괴되는 현상을 관찰할 수 있었다. 그러나 아직 난황막 외층에 여포 세포층을 형성하지 못한 크로마틴 인기 난모세포 및 주변 인기 난모세포들은 퇴화되지 않고 위축된 난소소엽 내에서 재배치된 상태로 퇴화 중인 난모세포들과 일정기간 동안 휴지기를 보내는 것이 관찰되었는데, 이들 초기 발달 중인 난모세포들은 이듬해 성장, 발달하여 성숙 및 완숙난모세포가 되는 것으로 보인다.

수컷의 경우, 정소는 수많은 정소소엽으로 구성되어 있는데, 생식세포들은 각각 포낭(cyst)을 형성하여 그 속에서 성장, 발달한다. 그리고 정소소엽과 소엽 사이의 간질조직 내에는 에오신에 붉게 염색되는 Leydig 세포(간질세포)들이 다수 출현하고 있는데, 이들 세포들은 인접한 포낭 속에서 성장, 발달하는 정모세포들, 정세포들의 성숙분열(감수분열) 시기에 다수가 출현하는 현상이 관찰되었다. 따라서 이들이 정자형성을 위한 감수분열에 관여하는 것으로 추정되었다 (Chung & Lee, 1994; Chung & Chang, 1995; Chung et al., 1997; Chung, 2008). 그리고 Leydig 세포들은 정자가 변태 중인 성숙 정소의 정소소엽 사이의 간질조직 내에서도 다수 출현하고 있어 이들 세포의 기능에 관한 상세한 조사가 요망된다(Chung, 2008). 정소에서 방정을 마친 후, 회복 및 휴지기 중에는 정소소엽은 퇴화·위축되고 수많은 정자들이 흐트러져 있고 잔존하는 미방출된 정자들은 퇴화·흡수되나, 이들 세포들과 함께 잔존하는 정원세포와 소수의 정모세포들은 이듬해 휴지기를 마친 후 성장, 성숙될 것으로 추정된다.

3. 산란기 판정

일반적으로 암·수 개체들의 산란기를 간접적으로 추정하기 위해서 생식소중량지수(GSI) 값을 계산하는데, 병어 암·수 개체의 GSI 월별 변화는 생식소 발달단계(생식주기) 및 수온의 변화와 거의 일치하여 변하는 경향을 보였다. 조직학적 관찰 결과와 함께 GSI 값을 비교하여 보면 암컷은 6월에, 수컷은 4월에 최고값에 이른 다음, 암·수의 GSI 값이 8월까지 급격히 낮아지고 있다. 따라서 암·수 개체들의 산란 또는 방정이 일어나는 시기는 종합적으로 판단하여 볼 때, 5~7월 사이이며, 산란을 마친 다음부터 장기간에 걸쳐 생식소가 퇴화·흡수되는 시기에는 그 값이 매우 낮은 경향을 보였다. 따

라서 GSI의 월별 변화는 생식소 발달단계(생식주기)의 변화와 일치하는 경향을 보였다.

병어의 경우는 암·수 모두 수온이 상승하는 시기에는 간중량지수(HSI) 값이 높아지고, 수온이 하강하는 시기에는 HSI 값이 낮아지고 있어 암·수가 유사한 경향을 보이고 있는데, 이것은 계절적 먹이 섭취 시기와 밀접한 관계가 있는 것으로 추정된다. 특히, 병어 암·수 HSI의 월별 평균값의 변화는 암·수 GSI의 변화와도 유사한 경향을 보이는 특징을 보였다. 일반적으로 해산어 중 하계산란어종의 경우는 GSI가 증가하는 시기에는 HSI가 감소되는 경향을 보여 서로 역상관 관계를 나타내는 것이 일반적인 경향이다.

GSI와 HSI 사이의 역상관 관계를 나타내는 종은 뱀장어, *Anguilla japonica* (Sugimoto et al., 1976), 은어, *Plecoglossus altivelis* (Ishida, 1979), 그물코쥐치, *Rudarius ercodes* (Lee and Hanyu, 1984) 등 수 많은 하계산란어종(담수어종)에서 보고되어 있다. 그러나 예외로 병어의 HSI와 GSI의 경우는 정상관 관계를 나타내었는데, 이와 같은 정상관 관계를 나타내는 종은 노래미, *Hexagrammos agrammus* (Chung & Kim, 1994), 연어, *Oncorhynchus nerka* (Imura & Saito, 1969), 고등어, *Scomber japonicus* (Noguchi & Bito, 1953) 등에서 소수가 보고되어 있다. 이와 같이 서로 다른 현상들이 나타나는 이유는 난소의 난소소엽 내에서 난모세포들이 난황을 축적하기 위해 간에서 합성된 난황단백질의 전구물질이 난소 내로 이동되는 시기가 뇌하수체 생식선자극호르몬(GTH)의 분비 조절이 어종에 따라 다르게 나타나는 것과 관련이 있는 것으로 사료된다.

일반적으로 산란기를 간접적으로 파악하기 위해 비만도지수(CF)값을 월별로 측정하는데, 병어 암·수 CF의 월별 변화 값은 모두 4월에 최대값에 도달한 후, 5월부터 8월까지 계속 감소하고 있어, GSI 값의 변화와 유사한 경향을 보였다. 따라서 산란 또는 방정은 5월부터 7월로 추정되었다. 이 시기에 암·수 개체들의 영구조직 절편을 관찰하여 보면, 산란 또는 방정하는 개체들을 쉽게 관찰할 수 있어 이 시기가 산란기 또는 방정기로 판정되었다. 전반적으로 볼 때, 각 지역개체군마다 비만도지수의 월별 변화는 약간의 차이를 보일 수 있을 것으로 사료된다. 특히, 산란 후인 수온이 하강하는 추·동계에는 GSI와 HSI 값이 감소되나, 예외로 비만도지수 값은 증가하는 경향을 보이고 있는데, 이는 생식활동에 의한 체력 및 에너지 손실을 회복하기 위해 회복 및 휴지기 시기에

먹이 섭취 활동이 활발히 일어나 다시 높은 값을 나타내는 것으로 추정된다.

어류의 성숙과 배란은 내분비계 호르몬에 의해 지배되는데, 이를 조절, 유도하는 것은 환경요인인 수온과 광주기 등의 외적요인에 의해 지배되는 것으로 알려져 있다(Ashina & Hanu, 1983; 강 등, 2004). Aida(1991)는 이들 외적요인에 의해 산란형태를 춘계산란형, 춘하계산란형, 하계산란형, 춘추계산란형, 추계산란형 및 동계산란형으로 구분하여 보고하였는데, 병어는 5~7월 사이에 산란이 일어나고 있어 춘하계산란형에 속한다.

병어를 대상으로 산란기의 조직학적 조사 결과를 비교하여 보면, 진(1990)의 조사 결과에서는 6~7월이 산란기라고 보고하였으나, 본 조사에서는 수온이 점차 상승하고 일장이 길어지는 5~7월 사이에 산란이 일어나고 있어 진(1990)의 보고보다 한 달 먼저 산란이 일어나는 경향을 보였다. 이와 같은 약간의 차이를 보인 것은 진(1990)이 병어를 채집한 동지나해(깊은 해역)와 본 조사 해역인 전남 영광군 주변 연안역(천해)의 외부환경 조건(수온과 광주기 등) 사이에 차이가 있어 산란기가 조금 다르게 나타난 것으로 판단된다.

4. 월별 난경 조성에 의한 산란빈도수 추정

병어의 한 산란기 중 산란빈도수를 추정하기 위해 월별 난경 조성을 조사하였다. 난소 내 난경 조성을 보면, 성숙 이전의 4월 개체에서는 소형 난경 mode가 주된 균을 형성하였으나, 5월에는 700 μm 와 800 μm 전, 후의 2개의 대형란(성숙란 및 완숙란)들로 성장, 발달되었고, 일부 개체 중에는 대략 700~800 μm 인 대형란들이 산란한 개체도 발견되었다. 6, 7월에는 난경 600 μm 정도의 중형란들이 700 μm 난경 mode를 이루었고, 700 μm 난들은 800 μm 전, 후의 대형란으로 성숙되어 대형 난경 mode를 이루었으며, 일부 난경 700~800 μm 인 성숙란들 또는 완숙란들은 방란으로 사라졌다. 그러나 8월이 되면 산란이 이미 끝나 대형 난경 mode는 산란으로 사라져 없어졌고, 대신 300 μm 와 350 μm 전, 후의 소형란들의 난경 mode 만이 존재하고 있어 병어의 산란빈도수는 한 산란기 중 1개체가 적어도 2회 또는 그 이상 산란하는 것으로 추정되었다.

5. 절대포란수와 상대포란수

본 조사에서, 체장당 절대포란수의 총 난수는 체장이 증가됨에 따라 절대포란수의 총 난수는 증가되는 경향을 보였으며, 상대포란수(cm 당)의 총 난수도 체장이 커짐에 따라 상대포란수의 총 난수가 증가되는 경향을 보였다. 이러한 결과는 다른 어류에서도 흔히 나타나고 있다(Jin, 1990; Jun, 2003; Kang et al., 2004).

본 조사에서, 체중당 절대포란수의 총 난수는 체중이 증가됨에 따라 절대포란수의 총 난수는 증가되는 경향을 보였다. 그러나 중량당 상대포란수(g 당)의 총 난수는 체중이 증가됨에 따라 증가되나, 일정 체중 이상으로 커지면, 오히려 체중 증가에 따라 상대포란수의 총 난수가 감소하는 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 다른 어종에서도 나타나고 있다(Jin, 1990; Jun, 2003; Kang et al., 2004).

6. 군성숙도 조사에 의한 합리적 자원관리

병어 암·수의 개체 크기별 군성숙도(%) 조사에서 체장 12.1~15.0 cm에서는 암·수 각각 55.6%와 56.3%를 나타내어 암·수 모두 군성숙도 50% 이상을 나타내었고, 체장 18.1~21.0 cm 이상에서는 암·수 모두 군성숙도 100%를 나타내었다. 따라서 병어의 생물학적 최소형 크기는 군성숙도 50%인 체장 12.1~15.0 cm로 판명되었는데, 이(1989)가 병어과 어류를 대상으로 연령별 체장을 사정한 결과를 본 조사 결과에 적용시키면, 1세 11.8 cm, 2세 17.3 cm, 3세 20.5 cm로 보고되어 있어, 본 조사에서 군성숙도 50%에 해당하는 체장은 12.1~15.0 cm이므로, 이 체장은 만 1.3세 정도로 추정된다. 그리고 군성숙도 100%에 해당하는 체장은 18.1~21.0 cm로 만 3세에 해당된다. 따라서 병어는 만 1.3세 정도가 되면 전체 개체의 50%가 재생산(산란)에 가담할 수 있는 것으로 사료되며, 암, 수 전 개체가 재생산에 가담할 수 있는 크기는 3세로 추정되었다. 따라서 체장 12.1 cm 이하인 개체를 어획한다면 가입량이 급감되어 자원량이 급감될 수 있으므로, 어획금지 크기를 선정할 때에는 12.1~15.0 cm 전, 후에서 선정할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 한국해양수산기술진흥원으로부터 수산특정연구과제(2006~2008) 연구비를 받아 수행되었으며, 또한 군산대학교 수산과학연구소 학술연구 지원기금(2007년도)의 일부 지원에 의해 연구되었기에 사의를 표합니다.

인용문헌

- Abe T, Kosaki T (1964) Notes on an economically important but scientifically little known silver pomfret, *Pampus echinogaster* (Pampidae, Teleostei). Jap J Ichthyol 12: 29-31.
- Aida K (1991) Environmental regulation of reproductive rhythms in teleosts. Bull Inst Zool Academia Sinica, monograph 16:173-187.
- Asahina K, Hanyu I (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.
- Bagenal TB, Braum E (1978) Eggs and early life history. In Ricker WE (Editor), Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Water. Univ Washington Press. Seattle and London pp 165-201.
- Basilewsky S (1952) Ichthyographia Chinae Borealis, *Nouveaux memoires*. Pekin TX, pp 215-264, pls.
- Billard R (1984) Ultrastructural changes in the spermatogonia and spermatocytes of *Poecilia reticulata* during spermatogenesis. Cell Tissue Res 273:219-226.
- Choi KH (2007) A study on reproductive ecology and genetic analysis of the *Boleophthalmus pectinirostris* in Korea. Ph. D. Thesis, Kunsan Nat Univ 128 pp. (in Korean).
- Chung EY, An CM, Lee TY (1991) Sexual maturation of the bluespotted mudhopper, *Boleophthalmus pectinirostris* (Linnaeus). J Kor Fish Soc 24:167-176 (in Korean).
- Chung EY, Kim SY (1994) On the maturity and spawning of Greenling, *Hexagrammos agrammus*. Korean J Ichthyol 6:222-236 (in Korean).
- Chung EY, Lee KY (1994) Structural and histochemical changes in the cyst cell and the interstitial cell in the testis of a teleost *Hexagrammos agrammus* associated with the reproductive cycle. Korean J Ichthyol 6:193-205.
- Chung EY, Chang YJ (1995) Ultrastructural changes of germ cell during the gametogenesis in Korea rockfish, *Sebastes schlegeli*. J Korean Fish Soc 28:736-752.
- Chung EY, Han HK, Kang HW (1997) Reproductive biology of the greenling, *Hexagrammos otakii* in the Yellow sea. I. Ultrastructural study of spermatogenesis. Yellow Sea 3:87-94.
- Chung EY (2008) Ultrastructure of germ cells, the Leydig cells, and Sertoli cells during spermatogenesis in *Boleophthalmus pectinirostris* (Teleostei, Perciformes, Gobiidae). Tissue Cell 40:195-205.
- Dwivedi SN, Roy GN, Vijayakumuran K (1976) Morphological studies on *Pampus argenteus* (Euphrasen). Geobios, Jodhpur 3:145-148.
- Hayashi I (1972) On the white pomfret of the East China Sea-II. Relation between the oceanographical condition and distribution of the white pomfret in the south-west region of the East China Sea. Mem Fac Fish Kagoshima Univ 25:181-191.
- Headrich RL (1967) The stromateid fishes: Systematics and a classification. Bull Mus Comp Zool Harv 135:31-139.
- Higashikawa S, Mashumitsu S (1974) On the white pomfret of the East China Sea-I. Relation between the oceanographical condition and distribution of the white pomfret in the south-west region of the Danzyo Islands. Mem Fac Fish Kagoshima Univ 23:57-63.
- Higashikawa S, Mashumitsu S (1976) On the white pomfret of the East China Sea-II. Relation between the oceanographical condition and distribution of the white pomfret in the south-west region of the East China Sea. Mem Fac Fish Kagoshima Univ 25:181-191.
- Higashikawa S, Nish T, Arima S (1981) On the White pomfret of the East China Sea-III. Feeding activity. Mem Fac Fish Kagoshima Univ 30:125-133.
- Higashikawa S, Nish T, Arima S, Masumitsu S, Utiyama M (1984) Deformities found in the pomfret, *Pampus argenteus* (Euphrasen) and *Pampus echinogaster* (Basilewsky) from the East China Sea. Mem Fac Fish Kagoshima Univ 33:23-31.
- Imura K, Saito T (1969) Seasonal variations in the metabolic activities of tissues constituents of some fishes-I. Changes in nucleic acid contents of some tissues of

- kokanee salmon, *Oncorhynchus nerka* f. Kenelyi. Bull Fac Fish Hokkaido Univ 20:202-210 (in Japanese).
- Ishida R (1979) Changes of hepatosomatic index of the ayu, *Plecoglossus altivelis* during a spawning season. Bull Tokai Reg Fish Res Lab 100:169-171.
- Jin JJ (1990). Gonadal maturation of the pomfrets, *Pampus echinogaster* and *Pampus argenteus* in the Korean Waters. MA. Thesis Nat Fish Univ Busan 40 pp. (in Korean).
- Jun JC (2003) A study on reproductive ecology of the stone flounder, *Kareius bicoloratus* on the west coast of Korea. Ph. D. Thesis Kunsan Natl Univ 135 pp. (in Korean).
- Kang HW, Chung EY, Kim JH (2004) Sexual maturation and spawning characteristics in greenling, *Hexagrammos otakii* of the west coast in Korea. J Aquaculture 17: 30-38 (in Korean).
- Kang HW, Kwak OY, Chung EY (2004) Ultrastructural study on oogenesis of the greenling *Hexagrammos otakii*. Korean J Ichthyol 16:271-281 (in Korean).
- Kim HB, Lee TY (1984) Reproductive biology of a shad, *Konosirus punctatus* (Temminck et Schlegel). Bull Kor Fish Soc 17:206-218 (in Korean).
- Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ, Kim JH (2005) Illustrated Book of Korean Fishes. Kyo-Hak Publishing Co., Ltd., 615 pp. (in Korean).
- Lee BW, Chung EY, Lee JY (2003) Histological study on the reproductive cycle of *Coilia nasus*. J Aquaculture 16:179-186 (in Korean).
- Lee DW (1989) Growth and reproduction of the Korean pomfret *Pampus echinogaster* from the East China Sea. MA. Thesis Natl Fish Univ. Busan. 51 pp. (in Korean)
- Lee TY, Hanyu I (1984) Reproductive cycle of small file fish, *Rudarius ercodes*. Bull Krea Fish Soc 17: 423-435.
- Love MS, Westphal WV (1981) Growth, reproduction and food habit of olive rock fish, *Sebastes serranoides* off central California. Fish Bull 79:533-543.
- Noguchi E, Bito M (1953) On the seasonal variations of the liver weight and oil content of mackerel. Bull Japan Soc Sci Fish 19:423-435.
- Payne AH, Hardy MP, Russell LD (1996) The Leydig Cell. Cache River Press., 802 pp.
- Pudney I (1996) Comparative cytology of the Leydig cell. In: Payne, A. H., Hardy, M. P., Russell, L. D. (Eds.), The Leydig Cell. Cache River Press, pp 97-142.
- Sugimoto Y, Takeuchi Y, Yamauchi K, Takahashi H (1976) Induced maturation of female Japanese eels (*Anguilla japonica*) by administration of salmon pituitaries, with note on changes of oil droplets in eggs matured eels. Full Fac Fish Hokkaido Univ 27:107-120.
- Toury R, Clérot JC, André J (1977) Les groupements mitochondriaux des cellules germinales des poissons Téléostéens Cyprinidés. Biol Cellulaire 30:225-232.
- Volodin VM, Mehnin FI, Kuzmina VV (1974) An experimental study of egg resorption in the bream, *Abramis brama*. J Ichthyol (Translated from the Russian) 14:219-230.
- Yamata U (1976) On young stages of *Pampus echinogaster* from the East China Sea. Uo 27: 1-26.
- Yoo JM, Kim JM, Huh HT (1985) A study on the early development of morphology and vertebral column of Korean pomfret, *Pampus echinogaster* (Basilewsky). Ocean Res Korea 7:11-18.