

한국 서해산 말뚝망둥어,
*Periophthalmus modestus*의 번식생태

양형수 · 정의영^{1,*} · 신문섭² · 최대업³

군산대학교 대학원 수산과학과, ¹군산대학교 해양생명과학부,

²군산대학교 토목환경공학부, ³한솔 ENC

Reproductive Ecology of the Dusky Mud Hopper,
Periophthalmus modestus in Western Korea

Hyoung-Su Yang, Ee-Yung Chung^{1,*}, Moon-Seup Sin² and Dae-Up Choi³

Department of Fisheries Science, Graduate School, Kunsan National University,
Kunsan 573-701, Korea

¹School of Marine Life Science, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea,

²School of Civil & Environmental Engineering, Kunsan National University,
Kunsan 573-701, Korea

³Environmental Operation Department, Hansol Engineering and Construction Co. Ltd.,
Gwangju 500-880, Korea

Reproductive cycle with the gonad developmental phases, first sexual maturity, spawning frequency, sex ratio of the dusky mud hopper, *Periophthalmus modestus* were investigated by histological observations. Monthly variations of the gonadosomatic index (GSI) began to increase in May and reached a maximum in June when the gonad was getting mature during the period of higher ground (water) temperature-long day length. Changes in the GSI showed a negative correlation to the HSI, but coincided with the fatness index. The reproductive cycle can be classified into five successive stages: in female, early growing stage (April to May), late growing stage (April to May), mature stage (May to June), ripe and spent stage (June to August), and recovery and resting stage (August to March); in males, growing stage (April to May), mature stage (May to June), ripe and spent stage (June to August), and recovery and resting stage (August to March); According to the frequency distributions of egg diameters during the breeding season, *Periophthalmus modestus* is presumed to be a summer breeder, asynchronous group and polycyclic species to spawn 2 times or more during the spawning season. Total eggs and mature eggs in absolute fecundity and relative fecundity (per cm) increased with the increase of body length. Total eggs and mature eggs in absolute fecundity and relative fecundity (per g) did not increase with the increase of body weight. Percentages of first sexual maturity of females and males ranging from 5.1 to 5.5 cm in body length are over 50%, and 100% for fish over 7.1 cm in body length. The sex ratios of females to males over 5.1 cm in body length were not significantly different from a 1 : 1 sex ratio.

Key words : *Periophthalmus modestus*, reproductive cycle, first sexual maturity, spawning frequency, sex ratio, Gomso Bay

*Corresponding author: eychung@kunsan.ac.kr

서 론

말뚝망둥어, *Periophthalmus modestus* Cantor는 농어목 망둑어과(Gobiidae)에 속하는 어종으로 한국의 서·남해안과 일본, 중국, 오스트레일리아, 인도, 홍해 연안의 갯벌에 서식하는 연안 정착성 저서어류이며(정, 1977; 김 등, 2005), 지온이 낮아지는 11월부터 4월초까지 지표면에서 수직으로 40~50 cm 깊이까지 서식공을 만들어 그 속에서 동면을 한다. 번식기에는 특이한 구애행동을 하며, 천적으로부터 알을 보호하기 위해 서식공 내에서 난을 굴에 부착시키는 산란습성을 지닌 특이한 특성을 갖는 어종으로서, 생물 종다양성면에 있어 연구할 가치가 많은 종으로 알려져 있다.

지금까지 국내외에서 본 종에 관하여 연구된 것으로 초기생활사(Kimura, 1958), 생활양식(류와 이, 1979) 및 섭식생태(최, 2007) 등의 생태학적 연구, 망둑어과 어류의 분류(Murdy, 1989) 및 말뚝망둥어 아과 어류의 분류(류, 1991; 김 등, 2005)에 관한 분류학적 연구, 이온교환(Shigefumi *et al.*, 1997)과 질소 물질대사(Katsuya and Iwata, 1988) 등에 관한 생리학적 연구 그리고 남해 순천만 말뚝망둥어의 성숙과 산란(김 등, 2007)에 관한 생식생물학적 연구가 단편적으로 보고되어 있지만 서해에 서식하는 본 종의 번식생태에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 종의 생식생물학적 연구를 위한 일환으로 산란기를 추정하기 위하여 생식소중량지수, 간중량지수 및 비만도지수의 월별 변화, 생식주기, 난소 내 난경분포, 군성속도, 포란수 및 성비 등을 조사하여 자원보존 및 관리에 이용하고자 한다.

재료 및 방법

실험에 사용된 말뚝망둥어(*Periophthalmus modestus*)는 11월에서 4월 초순까지는 땅속 깊은 굴 속에서 동면하기 때문에 표본을 채집할 수 없었고, 남은 7개월만 채집이 가능하였다. 본 실험에 사용한 말뚝망둥어 표본 채집은 전라북도 고창군 곰소만 선운리 앞 바다 조간대(Fig. 1)에서 제작한 조그만 어망과 손으로 2007년 4월 중순부터 10월 말까지 매월 2회씩 채집하였다. 본 조사 기간 중 채집된 총 565개체의 표본을 대상으로 개체별 크기(cm)와 중량(g)을 계측하였으며, 채집지의 월별 지온 및 일장은 한국해양자료센터(KODC) 및 기상청 산업기상자료를 이용하였다.

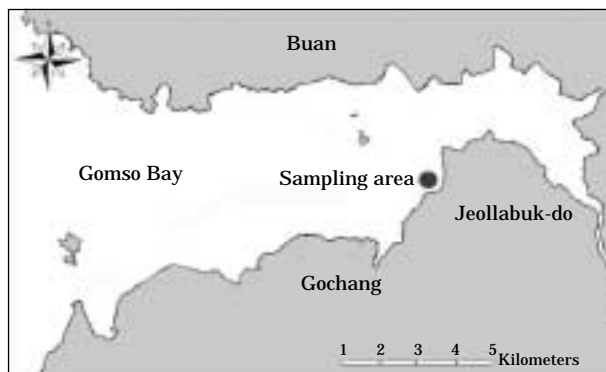


Fig. 1. Map showing the sampling area.

월별 생식소중량지수(gonadosomatic index, GSI), 간중량지수(hepatosomatic index, HSI) 및 비만도지수(fatness index)를 다음과 같이 구하였다.

$$\text{생식소중량지수 (GSI)} = \text{생식소 중량 (g)} \times 100 / \text{체중 (g)}$$

$$\text{간중량지수 (HSI)} = \text{간중량 (g)} \times 100 / \text{체중 (g)}$$

$$\text{비만도지수} = \text{체중 (g)} \times 10^3 / \text{체장 (cm)}^3$$

난경조성 변화를 조사하기 위해, 후기성장기에서 완숙기에 이르는 시기의 개체 중 성숙 상태가 육안으로 식별되고, 산란하지 않은 개체로 판단되는 난소만을 선정하여 0.01 g까지 측정 후, 개량 Gilson solution (Love and Westphal, 1981)에 넣고 60°C로 조절된 항온기에 수용한 후 난을 분리하였다. 이때 난의 분리를 위해 6시간마다 흔들어 주었고, 분리되지 않은 난들은 해부침을 이용하여 결합조직과 난들을 완전히 분리한 다음, 만능투영기(Nikon, J-12A)를 이용하여 난경을 측정 후, 난경모드를 산출하였다. 산란기간 중 산란횟수 추정은 산란기 중 난경조성 모드를 근거로 정과 이(1985), 정 등(1991)의 방법에 따라 판정하였다.

포란수의 계산은 Love and Westphal (1981)법에 의해 분리된 난소 내의 난들 중 100µm 이상인 난들을 Bagnal and Braum (1987)의 습중량법을 사용하여 계수하여 개체 크기별, 중량별 절대포란수와 상대포란수를 만능투영기(Nikon, J-12A)를 이용하여 각각 측정하였다. 군성속도 조사는 생식소가 발달하기 시작하여, 성숙해지는 2007년 4월 하순부터 산란이 종료되는 2007년 10월 말까지 채집한 개체들을 대상으로 생식소의 영구조직표본을 제작한 후, 광학현미경하에서 난경을 측정하여 개체군의 50% 이상이 성숙에 도달한 후 재생산(산란)에 참여하는 암·수 개체들의 크기(생물학적 최소형)를 조사하였다.

이 종의 광학현미경적 조직표본 제작은 Bouin 고정액

에 24시간 고정하여 파라핀 절편에 의해 5 μm 두께로 연속 절편을 만든 후, Hansen's haematoxylin과 0.5% eosin으로 이중 염색하였다. 생식세포의 형태와 크기 등을 광학현미경 (Olympus BX-50) 하에서 관찰하였다.

성비 조사는 성숙시기 (6~8월)에 군성숙도 50% 이상인 체장 5.1 cm 이상의 개체를 사용하였다. 성비 조사에서 성비 값은(암컷 개체수 / 총 개체수) 식으로 산출하였고, 암·수의 성비가 1 : 1이라는 가설 아래 Chi-square (χ^2) test에 의한 통계분석을 실시하였다.

결 과

1. 지온 및 일장 변화

전라북도 고창군 선운리에서 4~10월까지 조사기간 동안 지온의 변화는 14.6~28.9°C (평균 22.5°C)의 범위를 나타내었다. 2007년 4월 (14.6°C)부터 서서히 증가하여 8월 (28.9°C)에 가장 높았으며, 그 이후 하강하기 시작하여 10월 (16.6°C)까지 점차 하강하였다. 그리고 일장의 변화도 4월 (평균 13.1 h)부터 증가하기 시작하여 6월에 일장 길이가 연 중 최대 (14.5 h)에 이른 후, 7~8월부터 점차 감소하여 10월에 최저 일장 (10.5 h)을 나타내었다 (Fig. 2).

2. 생식소의 외부형태 및 내부구조

성숙한 말뚝망둥어의 난소는 체강 동쪽의 척추골을 따라 사이에 두고 좌우 한 쌍이 위치하고 있다. 난소는 주름진 기다란 원추형의 주머니 모양이며, 정소는 엽상의 관형으로 이들 기부는 좌우 정소가 융합되어 연결된

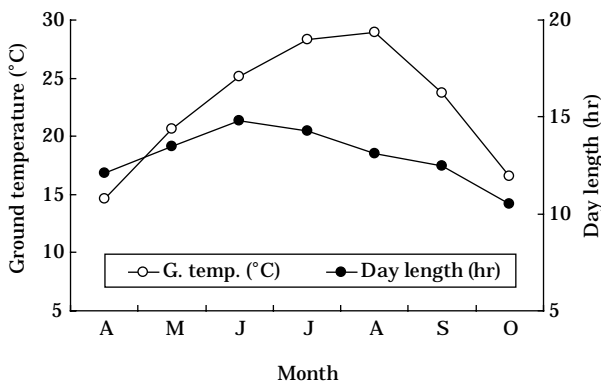


Fig. 2. Monthly variations of day length and ground temperature in the study area from April to October, 2007.

하방의 저장낭과 함께 완전한 정소구조를 이루고 있다. 미숙개체의 생식소는 외관상 암수의 성 구별이 어려우나, 성숙되면서 난소는 황색, 정소는 보다 유백색을 띄어 식별이 가능하였다. 암수 모두 생식소는 좌우 비대칭으로 성장되며 완숙된 상태에서의 난소는 좌우의 크기가 비슷하였다. 조직학으로 생식소의 내부구조를 관찰하여 보면, 난소는 혈관이 풍부하게 분포된 섬유성외막에 싸여 있으며 여기서 유래된 결체성 섬유가 혼재된 격막 경계를 이루며, 난소는 수많은 난소소엽으로 이루어져 있다. 난원세포는 이들 난소소엽 상피에서 분열증식하나 이들 난원세포가 난모세포로 성장, 발달하여 완숙되면 중앙의 난소강으로 유리되어 나온다. 정소 역시 이중결체섬유성막에 의해 구분되는 많은 정소소엽으로 구성되어 있으며, 이들 정소소엽의 내강에서 정원세포가 분열증식되고 있다. 정소의 수질부에는 각 소엽과 연결된 정소소엽이 있고, 정소소엽들은 정소의 기부에 연결되어 있다.

3. 생식소중량지수 (GSI), 간중량지수 (HSI), 비만도 지수의 월별변화

산란기를 간접적으로 추정하기 위하여 생식소중량지수, 간중량지수, 비만도지수의 월별변화를 조사하였다. 생식소중량지수 (GSI)의 월별 평균값의 변화는 암컷의 경우, 일장이 점차 길어지는 5월부터 증가되기 시작하여 지온이 상승하고, 장일장인 6월에 최대값 (7.5)을 나타내었다. 그 이후 높은 지온을 유지하는 7~8월까지 급감된 후, 일장 (12.5시간)이 짧아지는 9월에 최소값 (0.4)을 나타내었고, 계속하여 월동전인 10월까지도 GSI는 낮은 값을 보였다. 수컷의 경우도, 5월부터 증가되기 시작하여 6월에 최대값 (1.5)을 나타낸 후 7~8월까지 급감된 다음, 9~10월까지 낮은 값을 나타내었다 (Fig. 3). 상기 GSI의 월별 변화를 근거로 암·수의 개체들은 6~8월 사이에 산란하는 것으로 추정되었다.

암컷의 경우, 월별 간중량지수 (HSI) 평균값의 변화는 4월에 평균 1.7로 높았으며, 그 후 점차 낮아져 6월에 연중 최저치 (1.2)를 나타내어 GSI와 역상관 관계를 나타내었다. 7월부터 HSI 값이 다시 높아지기 시작하여 10월에는 연중 최고치 (2.5)에 도달하였다. 수컷의 경우도 HSI 평균값의 변화는 암컷과 비슷하였다. 4월에 HSI 평균값은 1.8로 높았으며, 점차 낮아져서 6월 하순 (1.3)~7월 중순 (1.4)까지 낮아져 연중 최저치를 보였고, GSI와는 역상관 관계를 나타내었다. 일장이 낮아지기 시작하는 8월에 접어들면서 다시 HSI 값이 높아지기 시작하여 10월에는 연중 최고치 (2.8)를 나타내었다 (Fig. 3).

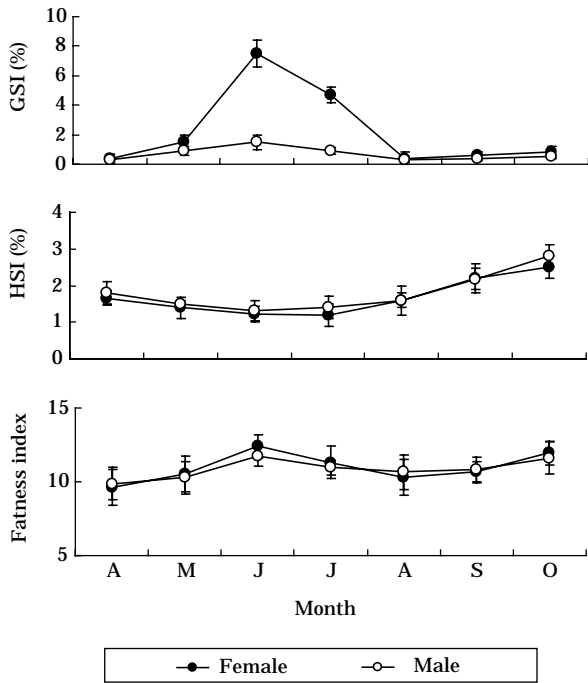


Fig. 3. Monthly variations of the gonadosomatic index (GSI), hepatosomatic index (HSI) and fatness index of *Peiophthalmus modestus* from April to October, 2007. Vertical bars represent the standard deviation.

비만도지수의 월별 평균값의 변화는 암컷의 경우, 5월 (20.2)부터 지온이 점차 상승하기 시작하여 6월에 최대값 (24.7)을 나타내었고, 그 후 7~8월에 감소한 다음, 9월 (21.4)부터 다시 서서히 증가하기 시작하였다. 수컷의 경우도 비만도지수의 월별변화는 5월 (21.4)부터 약간 증가하기 시작하여 6월에 최대값 (23.5)을 나타내었고, 그 후 7~8월에 감소된 다음, 9월 (21.6)부터 다시 서서히 증가하기 시작하였다 (Fig. 3). 상기 비만도지수의 월별 변화를 근거로 암·수의 개체들은 6~8월 사이에 산란하는 것으로 추정되었다. 그리고 비만도지수 평균값의 월별 변화는 암·수 개체 모두 GSI의 월별 변화와 유사한 경향을 보였다.

4. 생식소 발달단계에 따른 생식주기

GSI의 월별 변화와 생식소 발달단계에 따른 생식주기를 조사한 결과, 겨울철 동면기를 제외하고, 암·수 개체 생식세포들의 성장, 성숙 및 퇴화·회복 등의 형태적 특징과 크기를 기준으로 생식주기는 초기성장기, 후기성장기, 성숙기, 완숙 및 산란기 그리고 회복 및 휴지기 등의 연속적인 5단계로 구분할 수 있었다 (Figs. 4~7). 암·수 개체들의 생식소발달 단계의 기준은 다음과 같다.

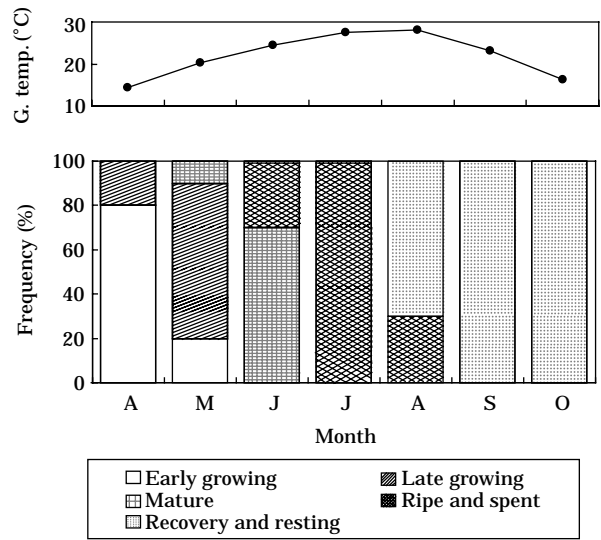


Fig. 4. Frequency of gonadal phases in female *Peiophthalmus modestus* and the mean ground temperature, from April to October, 2007.

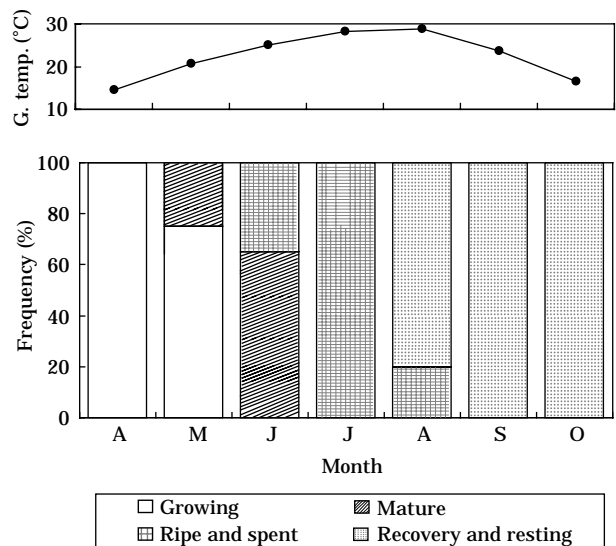


Fig. 5. Frequency of gonadal phases in male *Peiophthalmus modestus* and the mean ground temperature, from April to October, 2007.

1) 난소

초기성장기 (early growing stage)

초기성장기에는 난소소엽 내에 크로마틴인기 (난경 20~50 μm) 및 주변인기난모세포 (난경 60~100 μm)들이 주로 출현하였다. 초기성장기의 개체들은 지온이 비교적 낮은 시기인 4월부터 생식소가 활성화되기 시작하였다 (Fig. 6A).

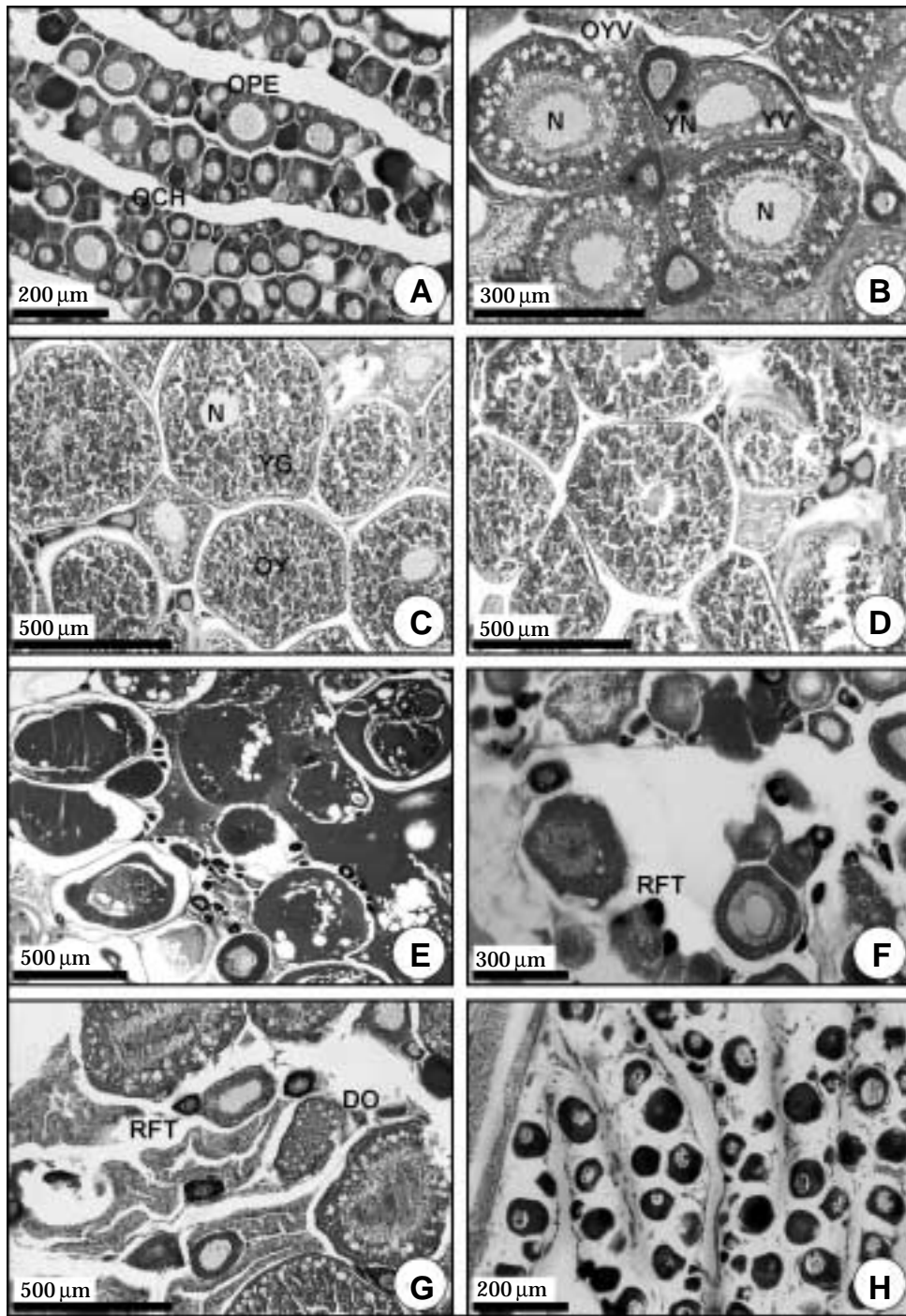


Fig. 6. Photomicrographs of ovarian developmental phases in female *Periophthalmus modestus* (A-H). A, Section of ovarian lobules in the early growing stage. Note oocytes in the chromatin-nucleolus, and perinucleolus stages in lobules; B, Section of ovarian lobules in the late growing stage. Note oocytes in the yolk vesicle stage and yolk stage in the lobules; C, D, Section of the ovarian lobules in the mature stage. Note oocytes in the yolk vesicle and yolk stages in the lobules; E, F, Sections of the ovarian lobules in the ripe and spent stage. Note oocytes in the migratory nucleus stage and undischarged oocytes; G, H, Sections of the ovarian lobules in the recovery and resting stage. Note several degenerating oocytes and newly formed oogonia. Abbreviations: DO, degenerated oocyte; MO, mature oocyte; N, nucleus; OCH, oocyte in the chromatin nucleolus stage; OG, oogonium; OL, ovarian lobule; OPE, oocyte in the perinucleolus stage; OY, oocyte in the yolk stage; RFT, residual follicular tissue; RO, residual oocyte; UDO, undischarged oocyte; YN, yolk nucleus; YV, yolk vesicle.

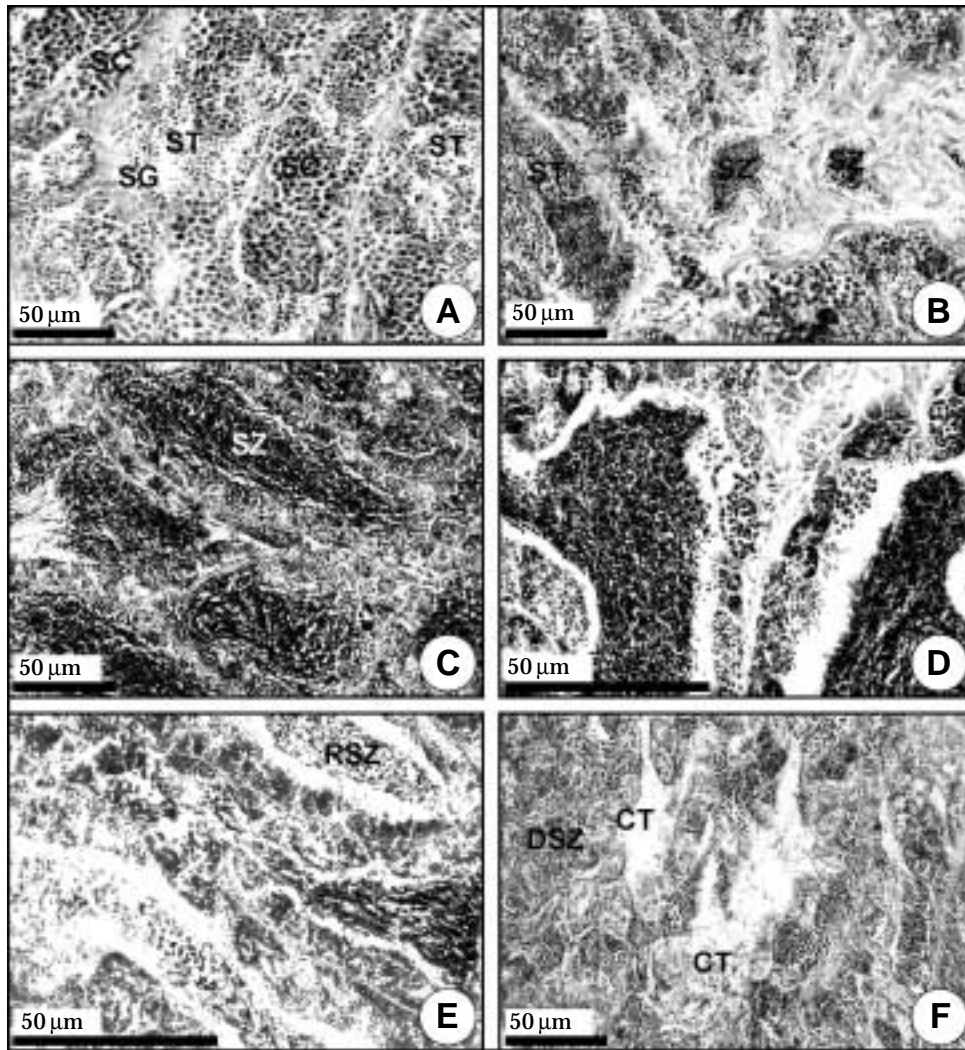


Fig. 7. Photomicrographs of testicular developmental phases in male *Periophthalmus modestus* (A-F). A, Section of the testicular lobules in the growing stage. Note a number of spermatogonia, spermatocytes, spermatids in the lobules; B, C, Sections of the lobules in the mature stage. Note a number of spermatozoa and spermatids in the lobules; D, E, Sections of the lobules in the ripe and spent stage. Note a number of basophilic spermatozoa and undischarged and residual spermatozoa; F, Section of the lobules in the recovery and resting stage. Abbreviations: CT, connective tissue; DSZ, degenerated spermatozoon; RSZ, residual spermatozoon; SC, spermatocyte; SG, spermatogonium; ST, spermatid; SZ, spermatozoon.

후기성장기 (late growing stage)

난소가 좀 더 발달하게 되면 이 시기에 난소소엽 내에는 난황포기난모세포(난경 150~200 μm), 제1차(난경 250~300 μm), 2차 및 3차 난황구기난모세포(난경 300~400 μm)들이 난소소엽을 가득 채웠다(Fig. 6B). 후기성장기 개체들은 지온이 점차 증가하기 시작하는 4~5월에 출현하였다.

성숙기 (mature stage)

암컷의 난소 발달은 급격히 진행되어 나타났으며, 난

소소엽 내에는 제3차 난황구기난모세포들과 함께 배포 이동기난모세포(400~500 μm 전후)들이 난소소엽을 가득 채웠다. 성숙기의 개체들은 지온이 높은 6월 하순까지 출현하였다(Figs. 6C, D).

완숙 및 산란기 (ripe and spent stage)

6월 하순~8월 초순에는 난소소엽 내에 소수의 초기 난모세포들과 400~500 μm 전후의 완숙난들로 채워져 있으며, 일부 개체들은 방란 흔적을 보였다. 완숙 및 산란기 개체들은 6월부터 지온이 높은 8월 중순까지 나타

났다 (Figs. 6E, F).

회복 및 휴지기 (recovery and resting stage)

8월에 방란을 완전히 마친 암컷들의 난소 내에는 미 방출된 난모세포들이 자체 퇴화·흡수되었다. 특히, 난소소엽 내에는 난황포가 형성된 성장 중인 난모세포들 이상의 난모세포들은 모두 퇴화·흡수되고 호염기성 세포질을 나타내는 초기발달 중인 난모세포들만이 난소소엽을 채웠다. 그 후 지온이 낮은 월동기간인 11월부터 이듬해 3월까지 장기간에 걸쳐 휴지상태를 지속하였다 (Figs. 6G, H).

2) 정소

성장기 (growing stage)

정소가 활성화 되어 정소소엽 내에는 정원세포 (8~9 μm)들이 활발하게 분열·증식하여, 5월에 접어들면서 GSI가 증가되고 정모세포, 정세포, 일부 변태중인 정자가 정소소엽 내에 나타나 정소소엽은 더욱 비대해졌다. 이들 성장기의 개체들은 지온이 점차 증가하는 4~5월에 출현하였다 (Fig. 7A).

성숙기 (mature stage)

GSI가 증가된 후, 정소는 GSI 값이 연중 최대치를 나타내었다. 정소소엽 내강 중앙부에는 일부 변태된 정자들과 수많은 성숙한 정자들이 여러 단계의 생식세포들로 가득 채워졌다. 성숙기의 개체들은 주로 지온이 높아지는 5월부터 나타나기 시작하여 7월까지 성숙상태를 유지하였다 (Figs. 7B, C).

완숙 및 배정기 (ripe and spent stage)

완숙 및 배정기에는 대부분의 개체에서 정자들이 정소소엽 내에 가득 차고 정자들이 배정되어 정소소엽 내강의 일부는 텅 비어 나타났다. 이러한 완숙 및 배정기의 개체는 지온이 높은 6월 하순부터 8월 초순까지 지속되었다 (Figs. 7D, E).

회복 및 휴지기 (recovery and resting stage)

9월초에 접어들면서 정소소엽은 퇴화·위축되고 소엽상피 상에 정원세포들이 재배치되어 지온이 낮아지는 10월 중순부터 동면 기간인 이듬해 3월말까지 장기간에 걸쳐 휴지기의 상태를 유지하였다 (Fig. 7F).

5. 난소 내 난경조성 및 산란회수

난소 내 난경조성을 보면, GSI가 증가하기 시작하는 5월에는 난경 150~250 μm 전·후의 소난경 모드가 나타나기 시작하였다. 그리고 GSI가 급증하는 6월 중순에는 300~350 μm 전·후의 중난경 모드가 출현하였고, 6

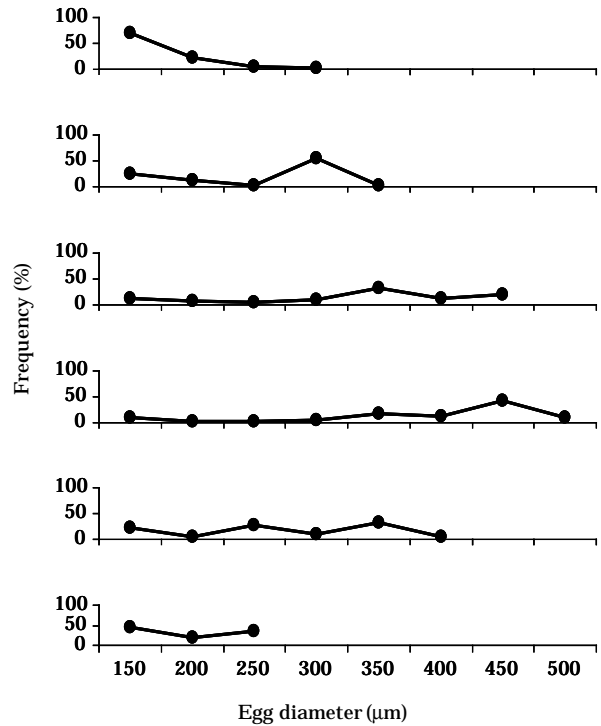


Fig. 8. Frequency distributions of egg diameters in female *Periophthalmus modestus* during the breeding season.

월 하순에는 350~450 μm 전·후의 대난경 모드로 되어 출현하였다. 7월 중순에는 난경 400~450 μm 전·후의 대난경 모드가 주요 모드를 이루었고, 7월 하순에는 산란으로 400~500 μm, 전·후의 대난경 모드는 사라지면서, 300~400 μm, 전·후의 중난경 모드와 소난경 모드가 출현하였다. 그러나 난소 내의 난경조성 모드는 난경이 성장, 발달하여 좀 더 큰 난경 모드로 이동되었다. 생식소중량지수가 감소하는 8월의 개체들에서는 150~250 μm 전·후의 소형난모세포군이 주요 모드를 이루었다. 상기 난경 모드의 변화로부터 말뚝망둥어는 산란기 중 2회 이상 산란하는 것으로 판단되었다 (Fig. 8).

6. 포란수 (Fecundity)

말뚝망둥어의 생식잠재력을 파악하기 위하여 균성숙도 50% 이상인 체장 5.1~7.4 cm인 총 55개체를 채집하여 체장과 체중별로 각각 5등급씩 나누어 측정된 결과는 Table 1과 2에 나타낸 바와 같다.

1) 체장당 절대포란수와 상대포란수

Table 1에 나타난 바와 같이, 절대포란수의 총 난수와 성숙난수의 경우는 체장 5.1~5.5 cm에서 각각 평균

Table 1. Compositions of absolute and relative fecundities by body length in female *Periophthalmus modestus*

Body length (cm)	Absolute fecundity		Relative fecundity (per cm)	
	Total eggs	Mature eggs	Total eggs	Mature gees
5.1~5.5	2,584~4,442 3,541	1,331~2,301 1,816	507~808 684	274~418 354
5.6~6.0	3,783~5,567 4,682	1,736~3,137 2,447	677~927 813	310~522 435
6.1~6.5	4,390~7,423 6,123	3,427~5,634 4,546	708~1,159 944	566~879 735
6.6~7.0	7,154~11,517 9,236	5,465~9,178 7,324	1,058~1,728 1,393	845~1,365 1,109
7.1~7.4	10,622~14,202 12,461	8,741~11,074 10,417	1,498~1,884 1,695	1,214~1,468 1,356

Table 2. Compositions of absolute and relative fecundities by body weight in female *Periophthalmus modestus*

Total weight (g)	Absolute fecundity		Relative fecundity (per g)	
	Total eggs	Mature eggs	Total eggs	Mature gees
2.1~2.5	2,588~4,639 3,643	1,158~2,098 1,628	1,244~1,846 1,552	562~857 718
2.6~3.0	4,554~7,252 5,915	2,327~4,132 3,247	1,775~2,414 2,097	895~1,386 1,153
3.1~3.5	7,076~11,938 9,518	4,748~7,774 6,273	2,291~3,415 2,861	1,543~2,242 1,904
3.6~4.0	12,149~14,802 13,492	9,719~11,855 10,787	3,378~3,716 3,556	2,715~2,979 2,852
4.1~4.4	12,122~14,213 13,184	9,702~11,378 10,547	3,016~3,164 3,097	2,347~3,168 2,765

3,541 eggs와 1,816 eggs이었고, 체장 6.1~6.5 cm에서는 평균 6,123 eggs와 4,546 eggs이었다. 그리고 체장 7.1~7.4 cm에서는 각각 12,461 eggs와 10,417 eggs를 포란하고 있어 체장이 커짐에 따라 절대포란수의 총 난수와 성숙난수는 증가되는 경향을 보였다.

상대포란수(cm 당)의 총 난수와 성숙난수의 경우는 체장 5.1~5.5 cm에서 각각 평균 684 eggs와 354 eggs이었고, 체장 6.1~6.5 cm에서는 평균 944 eggs와 735 eggs이었다. 그리고 체장 7.1~7.4 cm에서는 각각 1,695 eggs와 1,356 eggs를 포란하고 있어 체장이 커짐에 따라 상대포란수의 총 난수와 성숙난수는 증가되는 경향을 보였다.

2) 체중당 절대포란수와 상대포란수

Table 2에 나타난 바와 같이, 체중당 절대포란수의 총 난수와 성숙난수의 경우는 체중 2.1~2.5 g에서 각각 평균 3,643 eggs와 1,628 eggs이었고, 체중 3.6~4.0 g에서는 평균 13,492 eggs와 10,787 eggs이었다. 그리고 체중

4.1~4.4 g에서는 각각 13,184 eggs와 10,547 eggs를 포란하고 있어 체중이 커짐에 따라 어느 정도까지는 체중당 절대포란수의 총 난수와 성숙난수는 증가되는 경향을 보였으나 일정 체중 이상 커지면, 오히려 체중 증가에 따라 감소되는 경향을 보여 일치하지 않았다.

중량당 상대포란수(g 당)의 총 난수와 성숙난수의 경우는 체중 2.1~2.5 g에서 각각 평균 1,552 eggs와 718 eggs이었고, 체중 3.6~4.0 g에서는 평균 3,556 eggs와 2,852 eggs이었다. 그리고 체중 4.1~4.4 g에서는 각각 3,097 eggs와 2,765 eggs를 포란하고 있어 체중이 증가됨에 따라 일정 체중 이상으로 커지면, 오히려 체중 증가에 따라 상대포란수의 총난수와 성숙난수가 감소하는 경향을 보였다.

7. 군성숙도

2007년 4월에서 10월까지 체장 3.0~7.0 cm의 암컷 188마리, 수컷 196마리를 대상으로 생식소 조직표본을

Table 3. Body length of first sexual maturity in *Perio-phthalmus modestus*

Body length (cm)	Female		Male	
	Number (Ind.)	Mature (%) (Ind.)	Number	Mature (%)
3.0~3.5	11	0	15	0
3.6~4.0	13	0	17	0
4.1~4.5	17	0	17	0
4.6~5.0	22	40.9	23	43.5
5.1~5.5	23	56.5	25	60.0
5.6~6.0	26	69.2	22	72.7
6.1~6.5	27	81.5	24	83.3
6.6~7.0	21	90.4	27	92.6
7.1~7.5	17	100	14	100
7.6~7.9	11	100	12	100
Total	188		196	

*Ind. means number of individuals.

Table 4. Monthly variations in sex ratios of the adult *Perio-phthalmus modestus* (> 5.1 cm in body length)

Date	Female	Male	Total (ind.)	Sex ratio (F/F+M)	χ^2 Chi squared
Apr. 2007	42	34	76	0.55	0.84
May 2007	32	23	55	0.58	1.47
Jun. 2007	23	35	58	0.40	2.48
Jul. 2007	27	20	47	0.57	1.04
Aug. 2007	18	25	43	0.41	1.14
Sep. 2007	26	36	62	0.42	1.61
Oct. 2007	21	32	53	0.40	2.28
Total	189	205	394	0.48	0.65

The critical value for χ^2 goodness of fit test of equal numbers of females and males at 95% significance is 3.84. Ind means number of individuals.

현미경하에서 검경·조사하여 성숙 또는 방란·방정에 참여한 개체와 참여하지 못한 미성숙 개체를 조사하였다. 군성숙도 조사 개체 중 가장 많이 출현한 개체의 체장 범위는 4.6~7.0 cm이었다. 암·수 체장 4.6~5.0 cm에서는 각각 군성숙도 40.9%와 43.5%를 나타내었고, 5.1~5.5 cm에서는 군성숙도 56.5%와 60.0%를 나타내어 암·수 공히 50% 이상이었다. 그리고 암·수의 체장 7.1~7.5 cm에서는 모두 군성숙도 100%를 나타내었다. 따라서 암·수 모든 개체가 성숙하여 재생산(산란)에 참여하는 것으로 판단되는 크기는 체장 5.1~5.5 cm (평균 5.3 cm) 이상이었다 (Table 3).

8. 성비 (sex ratio)

암·수 개체의 성비를 조사하기 위하여 2007년 4월부터 10월까지 채집된 체장 5.1 cm 이상 (군성숙도 50%)인

총 394개체 (암컷 189개체, 수컷 205개체)를 대상으로 조사하여 Table 4에 나타내었다. 월별 표본 조사에서 4, 5, 7월에는 암컷이 수컷보다 더 많이 출현하였고, 나머지 6, 8, 9, 10월에는 수컷이 더 많이 출현하였다. 암컷 : 수컷의 성비가 1 : 1이라는 가정 아래 χ^2 (Chi squared)로 검증한 결과, 암컷 : 수컷의 성비는 1 : 1로 유의한 차를 보이지 않았다 ($\chi^2=0.65$, $p>0.05$).

고 찰

말뚝망둥어의 난소는 Hoar (1957)의 어류 난소형 분류 중 낭상형 (cystovarian type)으로 구분되었는데, 난소의 내부구조는 다른 경골어류에서와 같이 좌우로 분리된 원통모양의 한 쌍의 비대칭 낭상형이었으며, 다수의 난소소엽으로 구성되어 있고 이 곳에서 난모세포들이 발달하고 있다 (高野, 1989). 정소의 형태는 엽상형 (louble type)과 관상형 (tubule type)으로 구분되는데 (Nagahama, 1983), 말뚝망둥어의 형태는 엽상형으로 다수의 생식세포를 갖는 포낭 형태의 정소소엽으로 구성되어 있고, 소엽 중앙에는 강(腔)을 이루고 있어서 구피 (Billard *et al.*, 1982)에서 볼 수 있는 관상형과는 상이하였다.

생식소중량지수 (GSI) 평균값의 월별 변화는 4월부터 증가하기 시작하여 지온이 상승하고, 장일장인 6월에 최대값을 나타내었으며 이후 9월에 최소값을 나타내었고 월동 전인 10월까지도 낮은 값을 보였다. 이와는 반대로 월별 간중량지수 (HSI) 평균값의 변화는 4월부터 점차 낮아져 6월에 연중 최저치를 나타내어 GSI와 역상관 관계를 나타내었다. 비만도지수의 월별 평균값의 변화는 5월부터 시작하면서 고지온-장일장인 6월에 최대값을 나타내었고, 그 후 8월까지 감소한 다음, 9월부터 다시 서서히 증가하기 시작하였다. 어류의 간중량지수는 체내 영양물 축적과 소비, 난황 전구물질인 vitellogenin의 합성 등과 관련이 있으며 (Aida *et al.*, 1979; Miller, 1989) 산란시에 간중량지수 및 비만도지수가 감소하는 것은 산란에 많은 영양분을 소비하였거나 산란으로 인해 에너지가 소모되어 체중이 줄어들었기 때문에 값이 감소하는 것으로 추정되는데 (김 등, 2007) 이러한 결과는 본 조사결과와 일치하였다.

말뚝망둥어의 산란빈도를 확인하기 위해 난소 내 난경조성 빈도분포를 조사한 결과, 이들의 난경조성 빈도는 5월(성숙기)에 접어들면서 소난경 모드로부터 대난경 모드로 분산되기 시작하여 6~7월 중(완숙 및 방란기)에는 완숙난모세포에 이르기까지 여러 단계의 난모

세포군들이 무리지어 나타났다. 월별 난경모드의 분리, 이동을 볼 때 난황이 축적되어 완숙난모세포들이 되면 곧 성숙난 무리(대난경군)에서 분리되어 산란에 참여하게 된다. 7월 중(완숙 및 방란기)에 성숙난 무리(대난경난모세포군)들에서 완숙란이 산란되고 나면 곧 다음 차례로 발달한 성숙란 무리들이 최대난경군(450~500 μm 전후)으로 분리, 이동되어 방란이 일어나는 것으로 간주되었다. 이와 같이, 산란기의 난경분포 빈도를 근거로 하였을 때, 말뚝망둥어의 산란빈도는 1년 중 한 번의 산란기를 가지며, 한 산란기중 2회 또는 그 이상 산란하는 다회산란종(polycyclic species)으로 판단되었다.

경골어류의 난모세포 발달양식은 종에 따라 다소 차이가 있는데, Wallace and Selmen(1981)은 3가지 형 즉, 동기발달형(synchronous group), 난군동기발달형(group synchronous) 그리고 비동기발달형(asynchronous)으로 구분하였다(Wallace and Seman, 1981). 말뚝망둥어는 산란기 중 여러 단계의 난경 모드가 발달하여 분리 이동되면서 방란하는 난경조성의 변화를 보여주고 있어 비동기발달형에 속하는 어종의 생식특성을 나타내고 있으며, 이러한 현상은 쥐노래미과에 속하는 노래미(정과 김, 1994)와 임연수어 *Pleurogrammus azonus*(Ivankov, 1976), 그리고 범가자미 *Verasper variegatus*(김 등, 1998), 짱뚱어 *Boleophthalmus pectinirostris*(최, 2007), 오어 *Coilia nasus*(이 등, 2003)에서도 나타나고 있다.

온대해역에 서식하는 대다수의 어종은 각각 정해진 시기에 생식소가 발달, 성숙한 후 산란하는데, 이에 직접적으로 외적요인들이 내적요인에 영향을 주어 어체내의 내분비 활동이 변하게 되면, 이로 인해 생식소 발달이 일정한 주기성을 가지고 주기적으로 변하는 것으로 보고되어 있다(정과 이, 1985; 강 등, 2004). 그리고 산란기의 차이는 생식소 발달, 퇴화에 미치는 광과 수온(지온)의 차이 때문이며, 이러한 차이로 Aida(1991)는 어류의 산란형을 계절적으로 춘계산란형(spring spawner), 춘하계산란형(spring to summer spawner), 하계산란형(summer spawner), 춘추계산란형(spring to autumn spawner), 추계산란형(autumn spawner), 동계산란형(winter spawner)으로 구분하였다. 말뚝망둥어는 지온 및 일장의 변화와 생식소 발달 양상을 미루어 볼 때, 지온이 상승하고 일장시간이 길어지는 5월 이후부터 생식소가 급격히 발달하여, 고지온기에 접어드는 6월부터 산란기에 접어들고 최고 지온인 8월 초에 산란을 마치고 있다. 김 등(2007)에 의해 보고된 한국 순천만산 말뚝망둥어의 산란은 4~9월까지로 보고되어 있는데, 이 결과는 본 조사 결과보다 1개월 먼저 시작하고 1개월 늦게 산란이 끝나는 것으로 되어 있다. 이것은 남해안의

위도가 서해안의 위도보다 낮아 호적 지온(수온)이 먼저 이루어져 1개월 먼저 산란이 일어나며, 호적 지온(수온)도 서해안보다 다소 늦게까지 이루어지고 있어 산란기가 좀 더 길어진 것으로 사료된다. 말뚝망둥어의 성숙속과 산란에 영향을 미치는 외적 환경요인은 고지온-장일장이며 전형적인 하계산란형에 속하였다.

본 조사에서 생식력 측정을 위해 조사된 포란량은 군성속도 50% 이상인 체장 5.1 cm 이상인 개체들을 대상으로 포란수를 측정한 결과, 절대포란수의 경우 체장 계급별(cm) 총 난수와 성숙난수는 모든 계급에서 체장이 증가됨에 따라 절대포란수의 총 난수와 성숙난수는 증가되는 경향을 나타내어 김 등(2007)의 보고와 일치하였다. 그러나 체중 계급별(g) 총난수와 성숙난수는 체중 3.6~4.0 g까지는 체중계급의 증가에 따라서 각각 증가되는 경향을 보였으나 체중 4.1~4.4 g의 체중 계급에서는 오히려 3.6~4.0 g 계급보다 감소되어 체중 증가에 따라 증가되는 것은 아니었다. 이러한 결과는 정 등(1994)에 의해 보고된 노래미의 결과와 일치하였다.

상대포란수의 경우 체장계급별(cm 당) 총 난수와 성숙난수는 모든 계급에서 체장이 증가됨에 따라 상대포란수의 총 난수와 성숙난수는 각각 증가되는 경향을 나타내었다. 그러나 체중계급별(g 당) 총난수와 성숙난수는 체중 3.6~4.0 g까지는 체중계급의 증가에 따라서 각각 증가되는 경향을 보였으나 체중 4.1~4.4 g의 체중계급에서는 오히려 3.6~4.0 g 계급보다 감소되어 체중 증가에 따라 증가되는 것은 아니었다. 상대포란수의 경우 이러한 결과는 정 등(1994)에 의해 보고된 노래미의 결과와 일치하였다.

군성속도조사는 개체군이 어느 크기부터 성숙에 도달하여 재생산에 참여하는가를 파악하는 데 있으며, 또한 어획금지 크기를 밝힘으로서 보다 효율적인 자원관리를 위해 기초 자료로 활용할 수 있는 근거가 된다. 조사 결과 암·수 군성속도 50%(생물학적 최소형)에 해당되는 체장의 길이는 5.1~5.5 cm(평균 5.3 cm)이었다. 그리고 암·수의 체장 7.1~7.5 cm에서는 모두 군성속도 100%를 나타내었다. 김 등(2007)에 의하면, 말뚝망둥어 암컷의 경우는 체장 5.0~5.9 cm에서 군성속도 50% 이상(68.97%)이 이루어지는 것으로 보고하고 있어 본 조사 결과와 일치하였다.

암수의 성비를 조사하기 위하여 총 394마리를 대상으로 검사한 결과, 암컷 : 수컷의 성비는 1:1이라는 가정 아래 χ^2 (Chi squared)로 검증한 결과, 1:1로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($\chi^2=0.65, p>0.05$). 본 결과를 김 등(2007)의 순천만산 말뚝망둥어의 결과와 비교하여 보면, 동일한 결과를 나타내었다.

적 요

전라북도 곰소만에 위치한 선운리 조간대에서 채집된 2007년 4월부터 2007년 10월까지 말뚝망둥어 *Periophthalmus modestus* Cantor의 산란기를 파악하기 위하여 생식소 발달과 생식주기를 조사하였다.

난소는 수많은 난소소엽으로 이루어진 한 쌍의 낭상 구조로 이루어져 있고, 정소는 1쌍의 엽상형 구조로 이루어져 있다.

말뚝망둥어의 생식소 발달과 성숙 및 배정은 지온증가와 장일장의 환경요인에 의해 조절되고 있다. 암컷과 수컷에서, 생식소증량지수(GSI)는 지온이 증가되기 시작하는 늦은 4월부터 증가되기 시작하였고, 6월 하순(고지온-장일장)인 하계에 최대에 도달하였다. 그리고 7월부터 8월까지 점차 감소되었다가 9월부터 증가하였다. 간중량지수 값(HSI)은 암수 모두 4월부터 점차 감소되었으며 암컷은 7월(성숙기)에 수컷은 6월에 최소에 이르렀다. 이후 8월(배정 및 회복기)부터 점차 증가되기 시작하였다. 암컷에서, GSI와 HSI 사이에는 역상관 관계를 나타내었다. 비만도지수는 4월(초기성장기)부터 점차 증가되기 시작하여, 6월(성숙기)에 최대에 도달한 다음 7~8월에 점진적으로 감소되었다.

산란기의 난경빈도 분포에 의해 말뚝망둥어는 산란기간 중 2회 또는 그 이상 산란하는 비동기발달형의 다회산란종으로서, 총 포란수는 체장에 비례하여 증가되었다. 군성숙도에 이르는 비율은 체장 5.1~5.5 cm인 암·수 개체들에서 각각 56.5%와 60.0%(평균 58.3%)로 나타나, 이 계급 구간에서 생물학적인 최소 성숙 크기를 보여주었다. 이 종의 생식주기는 암컷의 경우 초기 성장기(4~5월), 후기 성장기(4~5월), 성숙기(5~6월), 완숙기 및 산란기(6~8월), 회복 및 휴지기(8~3월)의 5단계로 수컷의 경우는 성장기(4~5월), 성숙기(5~6월), 완숙 및 배정기(6~8월), 회복 및 휴지기(8~10월)의 4단계로 구분되었다. 암수의 성비를 조사한 결과 암·수의 성비는 1:1로 유의한 차를 보이지 않았다($\chi^2=0.65$, $p>0.05$).

인 용 문 헌

- 강희웅 · 박오열 · 정의영. 2004. 쥐노래미, *Hexagrammos otakii*의 난형성과정의 미세구조적 연구. *한어지*, 16(4) : 271~281.
- 김 윤 · 안철민 · 김경길 · 백혜자. 1998. 범가자미 *Verasper variegatus*의 성성숙. *한어지*, 10(2) : 191~199.
- 김익수 · 최 윤 · 이충렬 · 이용주 · 김병직 · 김지현. 2005. 흰색 한국어류대도감. *교학사*, pp. 421~443.
- 김재원 · 윤양호 · 신현출 · 임경훈 · Toru Takita · 박세창 · 백근욱. 2007. 한국 순천만 말뚝망둥어(*Periophthalmus moestus*)의 성숙과 산란. *한수지*, 40(2) : 79~83.
- 류봉석 · 이종화. 1979. 금강하구산 말뚝망둥어, *Periophthalmus cantonensis*의 하기생활양식에 대하여. *한수지*, 12(1) : 71~77.
- 류봉석. 1991. 한국산 말뚝망둥어 아과 어류의 분류와 생태. 전북대학교 대학원 박사학위청구논문, pp. 79~114.
- 이봉우 · 정의영 · 이정열. 2003. 웅어, *Collia nasus*의 생식주기에 관한 조직학적 연구. *한국양식학회지*, 16 : 176~182.
- 정문기. 1977. 한국어도보. 일지사, 727 pp.
- 정의영 · 김성연. 1994. 노래미, *Hexagrammos agrammus* (Temminck et Schlegel)의 성성숙과 산란. *한어지*, 6(2) : 222~236.
- 정의영 · 이택열. 1985. 노래미, *Agrammus agrammus* (Temminck et Schlegel)의 생식주기에 관한 연구. *부산수산대학연구보고*, 25(1) : 26~42.
- 정의영 · 안철민 · 이택열. 1991. 짱뚱어, *Boleophthalmus pectinirostris* (Linnaeus)의 성성숙. *한수지*, 24(3) : 167~176.
- 최대업. 2007. 고창 조간대 연안에 서식하는 말뚝망둥어 *Periophthalmus cantonensis*의 섭식생태. *군산대학교 석사학위청구논문*, 124 pp.
- 최기호. 2007. 한국산 짱뚱어, *Boleophthalmus pectinirostris* Linnaeus의 번식생태 및 유전학적 분석. *군산대학교 대학원 박사학위청구논문*, 121 pp.
- Aida, K. 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleosts. *Bull. Inst. Zool., Academia Sinica Monograph*, 16 : 173~187.
- Aida, K.P., V. Nagama and T. Hibiya. 1973. Physiological studies on the gonadal maturation of fish. I. Sexual difference in composition of plasma protein of ayu in relation to gonadal maturation. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 39 : 1091~1106.
- Bagenal, T.B. and E. Braum. 1987. Eggs and early life history. In : Ricker. E. (ed.), *Methods for assesment of fish production in fresh water. Limnology and Oceanography*, 13 : 165~210.
- Billard, R., A. Fostier, C. Well and B. Breton. 1982. Endocrine control of spermatogenesis in teleost fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39 : 65~79.
- Hoar, W.S. 1957. The gonads and reproduction. In the *physiology of Fishries*. Vol. 1, Academic Press, New York, pp. 287~321.
- Ivankov, V.N. 1976. The formation of ultimate fecundity in inter-mittently spawning fish with reference to the Southern One finned Greenling, *Pleurogrammos azonus*.

- and the wild glod fish *Carassius auratus gibelio*. J. Ichthyol., 16(1) : 56~62.
- Katsuya, I. and A. Iwata. 1988. Nitrogen metabolism in the mudskipper, *Periophthalmus cantonensis*: Changes in free amino acids and related compounds in various tissues under conditions of ammonia loading, with special reference to its high ammonia tolerance Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Physiology, V. 91, Issue 3 : 499~508.
- Kimura, M. 1958. Early development of the mudskipper *Periophthalmus cantonensis*. Nippon Suisan Gakkaishi, 23 : 754~757.
- Love, M.S. and W.V. Westphal. 1981. Growth, reproduction and food habits of olive rockfish, *Sebastes serranoides*, off central California. Fish. Bull., 79 : 533~543.
- Miller, P.J. 1989. The Ecology of Gobioid Fishes. Academic Press, New York, pp. 1~482.
- Murdy, E.O. 1989. A taxonomic revision and cladistic analysis of the *Oxudercine gogies* (Gogiidae: Oxudercinae). Rec. Aust., Mus., Suppl., 11 : 1~93.
- Nagahama, Y. 1983. The functional morphology of teleost gonad. In: Fish physiology (Vol. IX) Reproduction part A. Endocrine Tissues and Hormones edited by Hoar, W.S., D.J. Randall, and E.M. Donaldson. Academic Press, N.Y., pp. 223~275.
- Shigefumi, Y., I. Katsuya, F. Yasuaki and A. Masaaki. 1997. Ion transport across the skin of the mudskipper *Periophthalmus modestus*. Life Sciences, V. 79, Issue 19(4) : 903~910.
- Wallace, R.A. and K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. Am. Zool., 21 : 325~343.
- 高野和則. 1989. 卵巢の構造と配偶者形成: 水族繁殖學. 綠書房, 東京, pp. 3~34.

Received : October 3, 2007

Accepted : December 5, 2007