

자연산 수컷 참조기 *Larimichthys polyactis*의 생식년 주기

강덕영*, 조기채, 이진호, 강희웅, 김규희, 김효찬¹
국립수산과학원 서해수산연구소 증식연구팀, 부경대학교 양식학과

Annual Reproductive Cycle of Korean Yellow Croaker *Larimichthys polyactis*

Duk-Young Kang*, Kee-Chae Cho, Jin-Ho Lee, Hee-Woong Kang, Gyu-Hee Kim and Hyo-Chan Kim¹

West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, 707 Eulwang, Jung-gu, Incheon, 400-420, Rep. Korea

¹Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Rep. Korea.

Spermatogenesis in male yellow croaker *Larimichthys polyactis* was histologically investigated by sampling testicular tissue from 2~3 years old wild fishes captured from the coast of Mok-Po, South Korea. Spermatogenesis was characterized histologically, and staged according to the most advanced type of germ cell present. Annual reproductive cycle was classified into the following successive 4 stages: spermatogonia from August to September (rest stage), spermatogonia and spermatocytes from October to December (growth stage), spermatogonia, spermatocytes and spermatids from January to February (maturation stage), spermatogonia, spermatocytes, spermatids and spermatozoa from March to May (spermiation stage IV), and regressing testis from June to July (degeneration stage).

Keywords: Male yellow croaker, *Larimichthys polyactis*, Reproductive cycle

서 론

현재 굴비의 원재료로 사용되는 참조기 *Larimichthys polyactis*는 참조기과 민어목 어류로서 부세 *L. crocea*와 생물학적 특성이 매우 유사하지만, 개체의 외형, 크기와 생태학적 습성 차로 인해 육질이 부세보다는 월등히 우수한 어종으로 알려지고 있다. 또한 외형적으로 참조기와 부세와 비슷한 수조기 *Nibea albiflora*와 보구치 *Argyrosomus argentatus* 등이 국내에 서식하는 것이 보고되고 있다(정, 1977). 현재 이 종의 번식생물학적 특성과 생식연주기는 암컷을 대상으로 한 Kang et al. (2006)을 제외하고 수컷에 대해서는 생식생리학적 연구가 이루어진 적이 없다. 이 종은 현재 조 등(2007)에 의해 국내에서 최초로 인공 종묘생산 기술이 성공하여, 현재 자원조성용 및 양식 산업화 개발연구용으로 소량의 종묘들이 생산되고 있다. 그러나 참조기 양식 산업화를 위해서는 이 종의 암수 모두의 번식생물학적 특성을 이해하고, 이를 활용한 안정적인 어미의 공급 및 배우자 대량 생산기술이 개발되어야 가능하다. 특히 새로운 양식 어종을 개발하는 데 있어 암컷은 물론 수컷의 번식 시기와 번식 기구를 파악하는 것은, 인위적인 사육 환경에서 이루어질 인공 번식과 종묘생산을 위한 필수 자료로서 사전에 확보되어야 한다.

따라서 본 연구는 수컷 참조기의 번식생물학적 자료를 확보하기 위하여, 우리나라 서남해안 부근에서 어획된 자연산 참조기들을 대상으로 2004년 2월~2005년 2월까지 1년간 월별로 수컷 참조기의 생식주기를 파악하여 번식생물학적 특성을 구명하고, 참조기 인공수정 및 종묘생산 시 요구되는 최적의 정자 확보시기를 구명하고자 한다.

재료 및 방법

본 실험은 2004년 2월부터 2005년 2월까지 전남 목포 연안에서 어획된 자연산 참조기 수컷 각 30마리씩을 월별로 구입하여 사용하였다. 이때 실험에 사용한 수컷 참조기의 크기는 월평균 전장 15.8~23.0 cm, 체중 33.7~117.6 g이었다(Fig. 1). 구입한 참조기는 실험실로 옮겨 전장은 0.1 cm, 체중은 0.1 g까지 측정 후, 간, 내장 및 정소를 적출하여 0.01 g까지 계측하고, 조직표본 제작을 위하여 정소는 10% 포르말린에 고정하였다. 정소, 간 및 내장의 무게를 통해 정소 중량지수(Gonadosomatic index: GSI), 간 중량지수(Hepatosomatic index: HSI), 내장 중량지수(Viscerasomatic index: VSI) 및 비만도(Condition factor: CF)를 다음의 식으로 구하였다.

*Corresponding author: dykang@hotmail.com

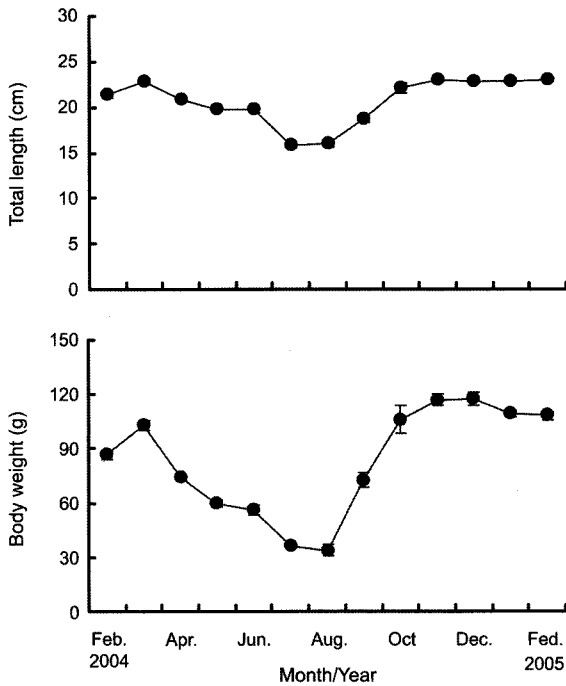


Fig. 1. Monthly change of mean body size of male yellow croaker *Larimichthys polyactis* used in the experiment (n=30).

$$\text{GSI (\%)} = (\text{생식소중량/체중}) \times 100$$

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

$$\text{VSI (\%)} = (\text{내장중량/체중}) \times 100$$

$$\text{CF} = (\text{체중/전장}^3) \times 100$$

또한 월별 수컷 30마리에서 적출한 정소를 10% 포르말린에 고정한 이후 조직학적 검경을 위해 고정된 정소의 중간 부분을 별도로 채취하여 Bouin's solution에 24시간 재고정하였다. 이후 파라핀에 포매 후 마이크로톰에서 4~6 μm 두께로 연속 절편하였고, 다음으로 Harris's hematoxylin과 eosin으로 이중 염색하여 조직 검경하였다. 조직상의 촬영은 현미경용 디지털카메라(Leica DFC320, 7.3Mpixel)를 이용하여 이루어졌으며, 화상해석분석시스템인 Leica QWin & Immaging

Workstation (Leica Microsystem, Germany)를 이용하여 조직의 발달 양상을 파악하였다. 정소 발달의 조직학적 조사와 생체지수의 연간 변화를 통해, 참조기의 생식년주기를 Weltzien et al. (2002)의 방법에 근거하여 성장기, 성숙기, 완숙 및 산란기 그리고 퇴화 및 휴지기의 연속적인 주기로 구분할 수 있었다(Table 1).

결과에 나타난 모든 수치들은 정소 내에서 가장 발달된 생식세포 형태에 따라 제시하였다. 통계처리는 SPSS-7.0 통계프로그램을 이용해 신뢰수준 95%에서 one-way ANOVA로 실시하였다.

결 과

정소의 구조

정소는 긴 엽상형으로 난소와 마찬가지로 복강 배측 후방부에 좌우 1쌍이 위치하며, 복강 가장 뒤끝 부위에서 좌우 정소가 합일된 후 다시 뇨관과 연결되어 비뇨 생식공으로 개구되어 있었다(Fig. 2). 한편 조직학적으로 참조기 정소는 한 단면에 여러 단계의 정자가 동시에 존재하는 소엽형(hollow lobule type)의 구조로 확인되었으며, 다수의 정소 소엽으로 구성되어져 있

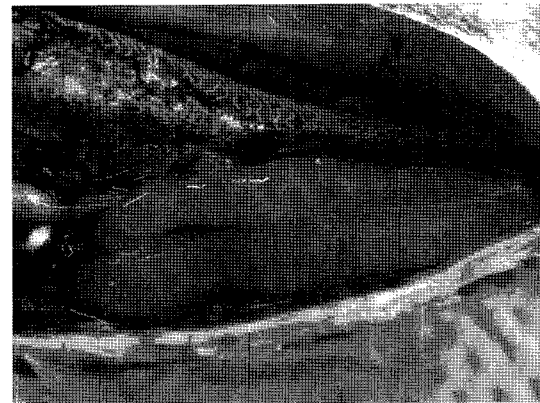


Fig. 2. Photograph of the testicle of male yellow croaker *Larimichthys polyactis* used in the experiment (n=30).

Table 1. Maturity stages of male Korean yellow croaker *Larimichthys polyactis* as defined by the germ cells present (Reference: Weltzien et al., 2002)

Stage	Description	General characteristics
Stage I	Spermatogonial (Rest)	Lobules contained spermatogonial stem cells associated with Sertoli cells and spermatocysts with early or late spermatogonia.
Stage II	Spermatogenesis (Growth)	Spermatocysts with primary or secondary spermatocytes appeared. The appearance of spermatocytes indicates that meiosis has initiated.
Stage III	Maturation	The lobule diameter increased and spermatocysts with spermatids appeared.
Stage IV	Spermiation	Spermatocysts also containing spermatozoa were present. Spermatozoa appeared in the lumen. Milt could be stripped from approximately 50% of the males in this stage.
Stage V	Degeneration & Rest	Testis in regression. All stages of developing germ cells may be present. This stage was characterized by the presence of Sertoli cells phagocytising spermatid residual bodies.

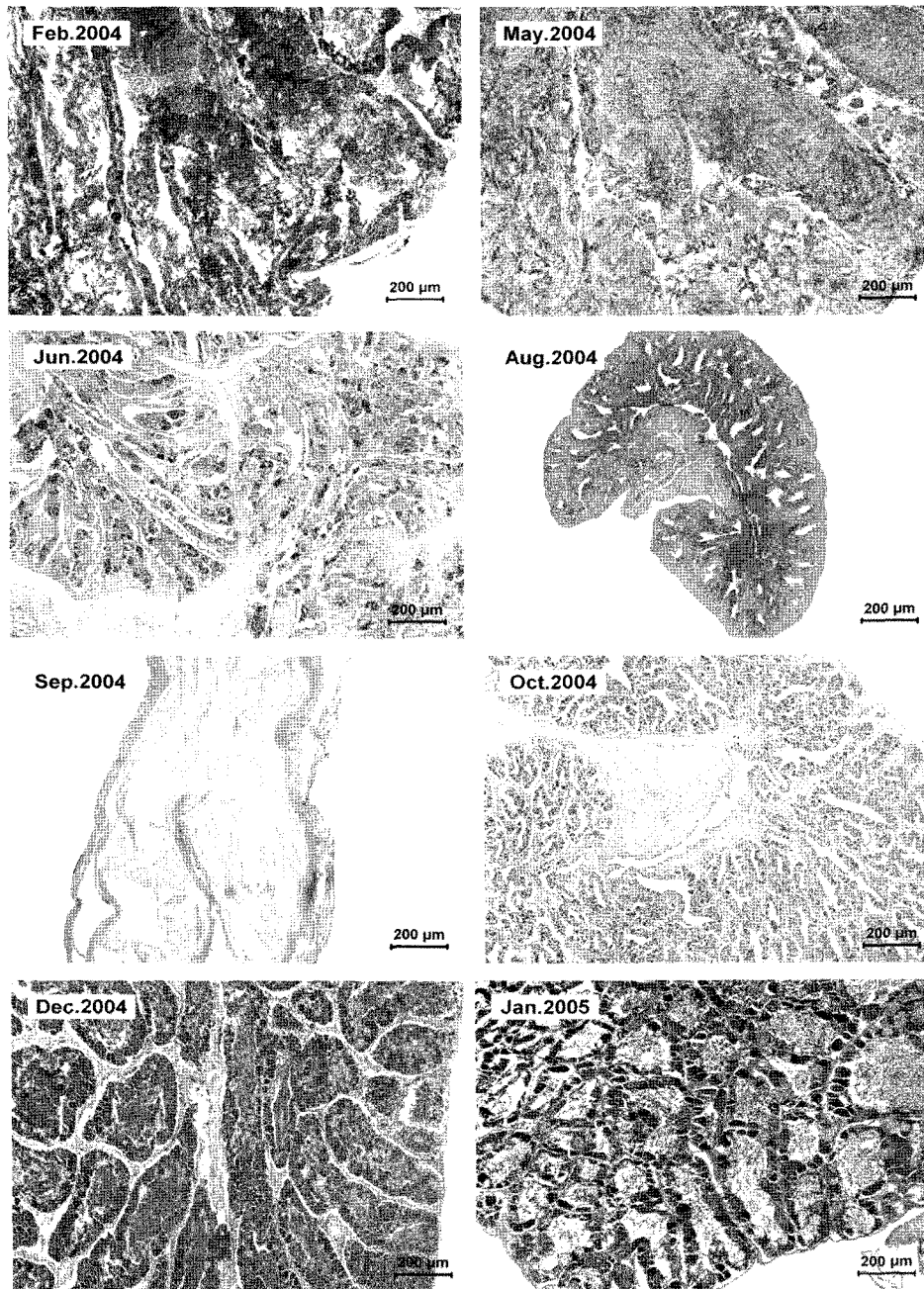


Fig. 3. Microphotographs of testis in male yellow croaker *Larimichthys polyactis* during the reproductive cycle: (A) February 2004, showing spermatocytes at the growing stage. (B) March 2004, showing the cysts of germ cells at the mature stage. (C) April 2004, showing spermatocytes, spermatids and spermatozoa at the previous spawning stage. (D) May 2004, showing many spermatozoa and spermatogonia at the main spawning stage. (E) June 2004, showing the gonad at the degenerative stage. (F) October 2004, showing spermatogonia in the testicular tubule. (G) December 2004, showing spermatocytes at the growing stage. (H) January 2005, showing spermatocytes at the growing stage. (SG: spermatogonia, ST: spermatids, SO: spermatocytes, SZ: spermatozoa, TT: testicular tubule, UDS: undischarged spermatozoa).

으며, 각 소엽들의 수정 소관은 수정관에서 합쳐지는 특징을 가지고 있었다(Fig. 3).

월별 정소 발달

2월과 3월에 채집된 대부분 개체들의 정소 조직은 정소세관 내의 생식세포들이 발달 단계별로 포낭을 형성하고 있었으며,

정소세관 내강에서는 변태된 정자들을 관찰할 수 있었다(Fig. 3, Feb. 2004). 그리고 4월과 5월로 접어들면서는 세관벽을 따라 정세포군들과 변태된 정자들로 가득 찬 정소세관으로 구성되어 있는 정소 조직상과 정소세관 내강에는 여전히 정자들이 관찰되지만, 정소 세관벽을 구성하고 있는 결합조직들이 호산성 색소에 뚜렷하게 염색되며, 이들 정소 세관 벽의 결합조직

Table 2. Reproductive cycle in male Korean yellow croaker *Larimichthys polyactis*

Stage	2004 Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	2005 Jan.	Feb.
Spermatogonia (Rest)	+	+	+	+/-	+/-	+	+++	+++	+++	++	++	+	+
Spermatogenesis	++	+	+/-						+/-	+	++	+++	++
Maturation	+	++	+++	++	+/-						+/-	+	++
Spermiation	+/-	+++	+++	+++	++							+/-	+
Degeneration					++	++							

*Symbols (from + to +++) indicates the relative abundance of each germ cell type; +/-: present in some individuals, (+): rare.

에 연결하여 정원세포들이 관찰되는 정소 조직상이 주로 관찰되었다(Fig. 3, May, 2004). 6월에 접어들면서 대부분의 수컷들의 정소세관 내강에서는 여전히 잔존 정자들이 관찰되었지만, 정소 세관 벽을 구성하는 결합조직과 정소세관 내 정원세포 및 간충직들은 모두 호산성 색소에 붉게 염색되어 있었다(Fig. 3, Jun, 2004). 8월과 9월에 정소 조직상은 뚜렷한 휴지기 양상을 나타내었다(Fig. 3, Aug & Sep, 2004). 10월에는 정소 조직의 염색성이 호염기성으로 바뀌었으며, 정소세관 내에는 세관 벽을 따라 정원세포들이 줄지어 있었다(Fig. 3, Oct, 2004). 이런 조직상은 11월까지 관찰할 수 있었다. 12월이 되면서는 정원세포들의 핵 내에서 인이 사라지면서 핵질의 변화가 일어나고 있었으며(Fig. 3, Dec, 2004), 다음해 1월과 2월로 접어들면서 정소세관은 점차 비후되기 시작하고, 세관 내에는 여러 단계의 생식세포들이 출현하기 시작하였다(Fig. 3, Jan, 2005).

수컷의 생식주기

1. 성장기

정소는 10월 초부터 활성화되기 시작하여, 성장기 정소를 가진 개체들의 출현율은 11월에 53%였으며, 이들 성장기 개체들은 1월 중순까지 관찰되었다(Table 2).

2. 성숙기

수컷은 12월에 성숙기 개체들이 출현하였으며, 이들 성숙기 개체들은 2월에 가장 많이 출현하였다.

3. 방정기

3월로 접어들면서 완숙 및 방정기 정자들의 출현이 관찰되었으며, 4월에 69%, 5월에 48%의 출현율을 보였다. 이들 방정기 정자들은 6월까지 출현하였다.

4. 퇴화 휴지기

수컷 어미의 생식세포는 5월부터 생식소가 위축되는 개체들이 출현하여, 6월에는 많은 개체수들이 퇴화하고, 7월에 이르러 완전히 퇴화된다. 이후 8월부터 9월까지 채집된 모든 개체들은 정원세포로 구성된 정소를 가지고 있는 휴지기 상태였다.

월별 생체지수(GSI, HSI, VSI, CF) 변화

월별로 조사된 자연산 수컷 참조기의 GSI, HSI, VSI 및 CF의 변화는 Fig. 4와 같다. 실험 개시기인 2004년 2월의 경우

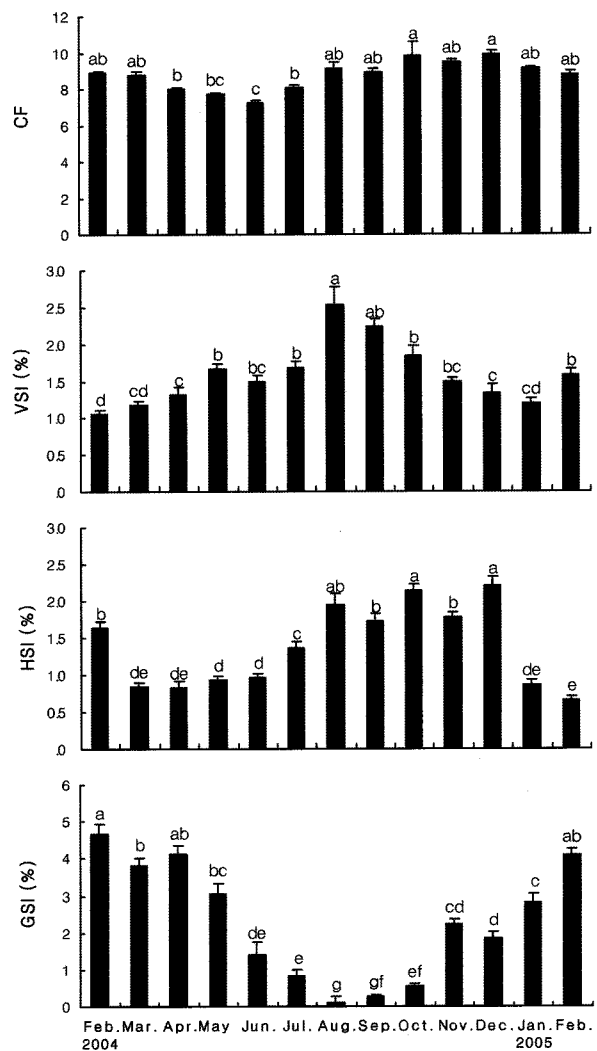


Fig. 4. Seasonal changes of condition factor (CF), hepatosomatic index (HSI), visceral index (VSI) and gonadosomatic index (GSI) in male yellow croaker *Larimichthys polyactis* captured from the western coast of South Korea.

GSI는 4.67±0.26%였으며, HSI는 1.63±0.09%였다. 이때 VSI는 1.05±0.06%, CF는 8.9±0.1였다. 3월에 들어서면서 GSI는 3.79±0.23%로 낮아졌으며, HSI 역시도 0.85±0.04%로 감소하였고, VSI는 1.18±0.05%로 앞 달에 비해 다소 증가하는 경향

을 보였다. 그러나 CF는 8.8 ± 0.1 로 2월에 비해 차이가 없었다. 이후 4월에 접어들면서 GSI는 $4.12 \pm 0.24\%$ 로 앞 달에 비해 차이가 없었으며, HSI도 역시 같은 경향을 보였다. 그러나 VSI는 3월에 비해 증가하여 $1.32 \pm 0.11\%$ 로 이 시기부터 증가하는 경향을 나타내었고, CF는 8.0 ± 0.1 로 반대로 낮아지는 경향을 보이기 시작하였다. 5월에 이르러서는 GSI가 다시 감소하기 시작하여 $3.05 \pm 0.27\%$ 를 나타내었으며, 8월에 연중 최저값인 $0.09 \pm 0.18\%$ 을 나타내었다. 이후 9월부터 다소 상승하여 12월에 $1.86 \pm 0.164\%$ 로 본격적인 재생상 경향을 나타내었다. 2005년 1월에 접어들면서 $2.82 \pm 0.23\%$, 실험 종료 시 2005년 2월 다시 $4.07 \pm 0.18\%$ 로 성숙기의 정소 형태를 나타내었다. 한편 HSI는 5월에 접어들면서 앞 달과 큰 차이를 나타내지는 않았지만, 본격적인 상승 경향을 나타내어 12월에 $2.20 \pm 0.13\%$ 로 연중 최고 값을 나타내었고, 2005년 1월 성숙기에 접어들면서 다시 감소하는 경향을 나타내었다. VSI는 5월부터 상승 경향을 보여 8월에 연중 최고 값인 $2.53 \pm 0.25\%$ 를 나타내어 휴지기에 내장중량이 충분해지는 것을 알 수 있었다. 이후 9월부터 다시 감소하기 시작하여, 10월에 $1.84 \pm 0.14\%$, 성숙기인 2005년 1월에 1.19% 로 감소하는 모습을 보였다. CF의 경우는 산란기인 5월과 6월에 $7.2 \sim 7.7$ 였으며, 휴지기인 8월부터 급격히 상승하여 성숙기인 2005년 1월까지 9.0% 이상의 높은 비만도를 나타내었다. 그러나 이후 2월부터 다시 감소 경향을 보이는 것으로 나타났다($P < 0.05$).

고 찰

경골어류의 정소 구조는 소엽형(lobule type)과 세관형(tubule type)으로 구분할 수 있으며(Billard et al., 1982; Grier, 1993), 소엽형은 체외수정 어류에서 나타나며, 세관형은 체내수정 어류에서 각각 나타나는 특징이 있다(Lee et al., 1997). 특히 Grier (1993)과 Lee and Yang (1998)에 의해 소엽형 정소는 세정관의 한 단면에 여러 단계의 정자가 동시에 존재하는 경우(hollow lobule type)와 한 단면에 동일 단계의 정자가 존재하는 경우(solid lobule type)로 세분된다는 것이 확인되었다. 본 연구에서 참조기 정소는 한 단면에 여러 단계의 정자가 동시에 존재하는 소엽형(hollow lobule type)의 구조로 확인되었으며 다수의 정소 소엽으로 구성되어져 있으며 각 소엽들의 수정 소관은 수정관에서 합쳐지는 특징을 가지고 있었다.

한편 Kang et al., (2006)에 의해 암컷 참조기는 “춘계 산란형” 번식 경향을 나타낸다는 것이 보고된 바 있다. 그러나 본 연구의 결과, 수컷의 경우 생식 주기와 월별 생식세포 변화의 관찰을 통해 암컷에 비해 수컷의 생식현상이 보다 빠르다는 것을 알 수 있었다. 수컷 참조기는 10월 초부터 활성화되어 정원세포를 형성하는 spermatogenesis을 진행시키며, 12월에는 성숙 spermatozoa를 형성하는 spermiogenesis이 진행되어 성숙기 개체들이 나타나고, 2월에 최대를 이룬다. 이후 GSI가 최고 정

점인 2월을 지나 3월에 이르자, 일부 개체들에서 완숙 및 방정기 정자들의 출현이 관찰되기 시작하여 일부 개체들에서 정액을 얻을 수 있었다. 4월에 최대 방정기를 나타내다가, 암컷의 최대 산란기 5월에는 오히려 방정력이 감소하는 것을 확인하였다. 6월에는 대부분 개체 수들에서 퇴화가 일어나며, 8월부터 9월에는 휴지기에 이른다. 이와 같이 수컷은 2월과 3월의 정소 조직 내 변태된 정자들이 관찰됨으로서, 암컷에 비해 생식기능이 앞서 완성되어 번식에 가입하길 대기하고 있으며, 암컷이 본격적으로 생식 현상이 일어나는 4월과 5월로 접어들면서는 정소 내 정자의 수와 활성을 최대로 끌어올려 자손의 번식을 시도하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 수컷은 생식현상은 수컷이 암컷에 비해 몇 일 또는 몇 달 앞서 성숙이 먼저 진행되어 완숙에 이르는 “웅성 선성숙 현상”으로 경골어류에서 일반적으로 관찰되는 현상이다.

본 연구에서 참조기 수컷의 생식소는 계절에 따른 생체 변화를 나타내었으며, 이것은 내장, 간의 중량적인 차이를 수반하여 비만도에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 이러한 현상은 연중 특정 시기에만 번식현상을 나타내는 온대성 경골어류들에서 주로 관찰되며, 특히 번식기를 중심으로 생식소 발달에 따른 여러 가지 생체 지수들의 변화를 동반한다는 사실은 잘 알려져 있다. Kang et al. (2006)가 보고한 암컷 참조기의 경향도 이와 매우 유사하였다. VSI는 연중 GSI와 반대의 경향을 보였고, HSI는 GSI가 가장 낮은 비번식기에 가장 높게 나타났다는 것이다. 하지만 이전 연구자들에 의해 확인된 사실은 이러한 현상은 종 특이성에 기인하기 때문에 HSI가 생식선 발달에 직접적인 관련이 있다는 사실을 받아들이기 어렵다. 즉 자리돔 *Chromis notatus* (Lee and Lee, 1987; 이 & 이, 1988), 문질망둑 *Acanthogobius flavimanus* (Park et al., 2005) 및 강도다리 *Platichthys stellatus* (Lim et al., 2007)과 같이 어종에 따라 HSI 변화와 GSI 변화 양상이 역상관 관계를 보이는 종들도 있으나, 줄망둑 *Acentrogobius pflaumi* (Baeck et al., 2004), 흰점돔가시치 *Siganus canaliculatus* (Hwang et al., 2004), 농어 *L. japonicus* (Kang et al., 2001) 및 병어류(Lee and Jin, 1989)와 같은 어종들에서는 GSI와 정 상관관계를 나타내고 있어, 종별 차이가 존재하는 이유에 대해서는 아직 구명된 바 없다. 다만 산란형태 및 산란기간 등 생식현상의 발현 차이 또는 자연계 내 먹이량 변화에 의한 것으로 추정된다. 한편 CF의 경우 대부분의 성숙 방정기에 낮아지는 경향이 있었다. 이것은 성성숙 및 산란에 필요한 에너지 소비가 높음에 따른 체성장 및 중량이 감소함으로 나타나는 것으로 생각된다.

이상으로 본 연구에서 우리는 참조기의 정소 성장과 발달의 관점에서 정자형성 주기를 확인하였다. 정자 형성은 단계별로 구분되어지며, 생식주기는 각각의 생식 활성기에 따라 변화하는 정소의 크기와 발달시기에 의해 특징지어진다. 또한 암컷 참조기와 비교해 수컷의 생식세포의 발달은 암컷보다 다소 빨리 진행되며, 그 시기는 빠르면 2달 아니면, 최소 1달 정도는 앞서

완전한 생식 기능을 갖추게 되는 것을 확인할 수 있었다. 즉 비록 암컷의 주 번식기는 4~5월이지만, 최적의 정자를 확보할 수 있는 시기는 3~4월 사이에 가능하다는 것을 알 수 있었다.

요 약

우리나라 서해 목포 연안에서 2004~2005년에 포획된 자연산 참조기 수컷을 이용해 정자 형성과정을 조직학적으로 조사하였다. 정자 형성과정은 정소 내 가장 빠른 성장 단계를 나타내는 배아세포를 기준으로 구분하였다. 그 결과 참조기의 정자형성 과정은 정원세포만이 존재하는 8~9월 휴지기, 정모세포가 출현하는 10~1월 성장기, 정모세포와 정세포가 공존하는 12~2월 성숙기, 정모세포, 정세포 및 정자가 함께 공존하는 3~6월 방정기, 퇴행성 정세포 및 정자가 관찰되는 5~7월 퇴화기와 같이 5 단계로 나누어 볼 수 있었다.

참고문헌

- Aida, K., 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleostes, Bull. Inst. Zool., Academia Sinica, Monograph, 16, 173-187.
- Baeck, G.W., J.W. Kim and S.-H. Huh, 2004. Maturation and spawning of striped goby (*Acentrogobius pflaumi*) (Teleostei; Gobiidae) collected in the Gwangyang Bay, Korea. J. Kor. Fish. Soc., 37(3), 226-231.
- Billard, R., A. Fostier, C. Weil and B. Breton, 1982. Endocrine control of spermatogenesis in teleost fish. Can. J. Aquat. Sci., 39, 65-79.
- Hwang, H.K., C.B. Park, Y.J. Kang, J.H. Lee, S. Rho and Y.D. Lee, 2004. Gonadal development and reproductive cycle of the rabbitfish (*Siganus canaliculatus*). J. Kor. Fish. Soc., 37(5), 393-399.
- Grier, H.J., 1993. Comparative organization of sertoli cells including the sertoli cell barrier. p.703-739. In the sertoli cell, Cache Press, Clearwater.
- Kang, D.-Y., H.-K. Han and C.-M. An, 2001. Reproductive cycle of seabass, *Lateolabrax japonicus*, Korean J. Ichthyol. 13(3), 201-209.
- Kang, D.-Y., K.-C. Jo, J.-H. Lee, H.-W. Kang, H.-C. Kim and G.-H. Kim, 2006. Annual reproductive cycle of wild female yellow croaker, *Larimichthys polyactis*. J. of Aquaculture, 19(3), 188-196.
- Lee, T.Y. and J.-J. Jin, 1989. Studies on the fishery biology of pomfrets, *Pampus* spp. in the Korea waters 2. Gonadal maturation and spawning. J. Kor. Fish. Soc., 22(5), 266-280.
- Lee, Y.D. and T.Y. Lee, 1987. Studies on the reproductive cycle of damselfish, *Chromis notatus* (Temminck et Schlegel). J. Kor. Fish. Soc., 20(6), 509-519.
- 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 in indoor tank. J. Aquaculture, 20(4), 212-218.
- Lee, W.K. and S.-W. Yang, 1998. Testicular development and serum levels of gonadal steroids hormone during the annual reproductive cycle of the male korean dark sleeper, *Odontobutis platycephala* (Iwata et Jeon). J. Aquaculture 11(4), 475-485.
- Park, M.H., I.J. Hwang, D.J. Kim, Y.D. Lee, H.B. Kim and H.J. Baek, 2005. Gonadal development and sex steroid hormone levels of the yellowfin goby *Acanthogobius flavimanus*. J. Kor. Fish. Soc., 38(5), 309-315.
- Weltzien, F.-A., Taranger, G. L., Karlsen Ø. and Norberg, B. 2002. Spermatogenesis and related plasma androgen levels in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus L.*). Comp. Biochem. Physio. Part A (132), 567-575.
- 이영돈·이택열, 1988. 자리돔, *Chromis notatus*의 성성숙에 따른 간세포 및 GTH 세포의 활성변화. 제주대 해양연보, 12, 73-78.
- Cho, K. C., 2007. Seedling production of *Larimichthys polyactis*. PH. D. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea. pp. 72-101.
- 정문기, 1977. 한국어도보. 일지사, pp. 298-299.

원고접수 : 2008년 6월 13일

심사완료 : 2008년 10월 2일

수정본 수리 : 2009년 2월 5일