

실내사육 농어, *Lateolabrax japonicus*의 생식소 및 성호르몬의 주년 변화

강덕영* · 한형균 · 백혜자*

국립수산과학원 거제수산종묘시험장, *부경대학교 해양생물학과

Monthly Gonadal and Sex Hormonal Changes of Indoor-Reared Seabass, *Lateolabrax japonicus* during Annual Reproductive Cycle

Duk-Young KANG⁺, Hyoung-Kyun HAN and Hea-Ja BAEK^{*}

Keoje Marine Hatchery, NFRDI, Keoje 656-840, Korea

^{*}Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

The sea bass, *Lateolabrax japonicus* is a highly valued fish in aquaculture in South Korea. For establishment of seedling production of sea bass, *L. japonicus*, we examined change of gonadal development and plasma steroid levels of sea bass reared in indoor tank. Male matured unsimultaneously faster than females and spawning of females took place between the end of January and March. After the spawning period, and until the following January, all the females were in previtellogenesis and in some males, spermatogenic activity restarted gradually. In October, under reducing photoperiod, cortical alveoli appeared in growing oocyte and the development of spermatogenesis greatly increased. Between October and February, vitellogenesis and spermatogenesis occurred respectively in female and male and gonadosomatic index increased from 4.31 to 24.07% in female and upper 6% in male. Also, two sex hormones were analyzed during the course of a reproductive cycle in the sea bass: plasma levels of the gonadal steroid testosterone (T) and estradiol-17 β (E₂). Variation of the plasma concentrations of T and E₂ appeared to depend on gonad stages. Plasma T and E₂ levels were high from November to January, suggesting that an sufficient gonadal stimulation by both hormones may undergoing a processes for the formation of sperm and oocyte.

Key words: Sea bass, *Lateolabrax japonicus*, Reproductive cycle, Sex hormone, Aquaculture

서 론

국내 해산어류 양식산업은 대부분 넙치와 조피볼락에 편중되어 있으며, 과잉 생산의 위험성뿐만 아니라 시장의 품종 단일화에 의해 국내외적으로 경쟁력 저하를 초래할 수 있다. 따라서 새로운 대체 품종 개발이 절실히 요구되고 있지만, 대다수 양식대상 후보종의 번식 기술이 아직 완벽하게 확립되어 있지 않아 산업화에 어려움을 겪고 있다. 이러한 신품종 개발은 그 종의 생태 및 생리학 특성 이해를 통해 자연산 어류의 사육화가 먼저 이루어져야 가능하다. 그러나 대부분의 새로운 양식대상 어류 개발은 어미 확보와 인공사육 시스템에서 생식기능의 발현이 이루어지지 않아, 종묘생산에 필요한 수정란의 수급에 어려움을 겪는 경우가 많다. 따라서 어류의 번식기구 구명이 수정란 생산에 필수적 요소로 인식되면서, 국내에서도 다수의 양식대상 후보 종들을 대상으로 생식현상 구명과 인위적 생식기능 조절을 위한 생명공학적·내분비학적 연구가 진행 중에 있다. 또한 넙치와 조피볼락에 편중되어 있던 국내 양식어종의 다변화를 위한 새로운 대상종 개발 요구가 높아지면서, 최근 농어, *Lateolabrax japonicus*가 많은 관심을 끌고 있다. 농어는 농어목 농어과 어류로서 현재 자연산 치어의 수집이나 수입에 의한 불안정한 양식이 이루어지고 있는 중이다. 국내의 농어 수요에 대한 공급을 충족시키고, 외국산 종묘 이식 때 유발될 수 있는 각종 외국산 바이러스의 국내 유입을 사전 예방

하는 차원에서라도 순수 국산의 수정란 및 종묘생산이 이루어져야 한다. 이에 최근 Kang et al. (2001)이 자연산 농어의 생식 연주기를 파악함으로써, 일차적으로 인공사육 조건에서 번식생리학적 구성요소를 파악할 수 있는 기반을 마련해 주었다.

본 연구에서는 지속적이고 안정적인 국내의 농어 종묘생산 기반에 필요한 실내사육 어미로부터 자연 산란에 의한 수정란 생산 기술 확립을 위한 기초연구로서, 인공사육 시스템 내 어미의 생식소 및 성호르몬의 연간 변화를 통한 생식기능의 발현 여부를 타진해 보고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험어 및 사육관리

가두리에서 2년간 사육한 양식산 농어 어미를 1998년 10월에 실내 사육수조로 옮겨 약 3개월간 적응시킨 뒤, 1999년 1월부터 2000년 2월까지 1년간 사육하면서 실험을 실시하였다. 암컷의 경우 전장 56.9 ± 5.5 cm (체중 1.9 ± 0.5 kg)의 어미를, 수컷은 전장 51.0 ± 0.1 cm (체중 1.2 ± 0.08 kg)를 사용하였다.

사육관리는 콘크리트 실내 사육동내 20 ton 콘크리트 수조 5곳에 분산 수용하여 이루어졌으며, 유리창으로 들어오는 외부의 간접 자연광에 의한 자연광주기를 따랐으며, 수조내로 직사광선 또는 인위적인 빛은 제공되지 않았다. 환수율은 1일 2,000~3,000%로 해 주었고 매일 오전 9시에 수온 및 염분 등의 사육환경을 측정하였다 (Fig. 1).

⁺Corresponding author: kangdy@msn.com

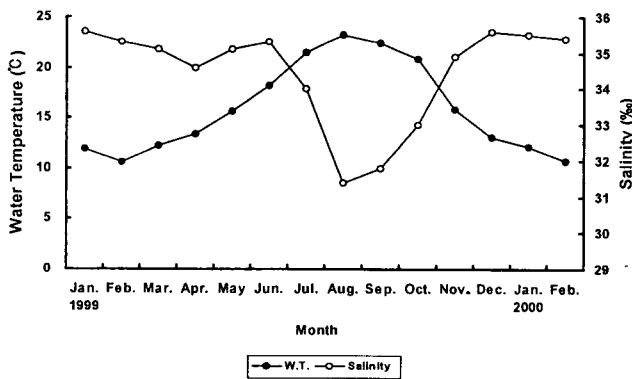


Fig. 1. Monthly changes of water temperature and salinity in indoor tank.

2. 생식소 및 호르몬 분석

실험개시전 생식기 동안 (1998년 10월~12월), 개체별 외형 변화와 생식소의 cannulation을 통한 개체별 성 구별이 이루어진 농어 어미를 매달 암컷 5마리와 수컷 5마리를 무작위로 채취하여 마취시킨 후 미부 동맥으로부터 헤파린 처리 주사기로 혈액을 채취한 다음, 4°C에서 5분간 원심분리 (12,000 rpm)하였다. 이후 혈장은 호르몬 분석때까지 -70°C에 보관되었다. 농어의 혈장 testosterone (T)과 estradiol-17β (E₂) 농도는 방사면역측정법 (radioimmunoassay: RIA)으로 이루어졌다. T와 E₂ 측정은 Aida et al. (1984)의 방법에 따랐으며, 스테로이드 추출에서부터 RIA 측정은 국립수산과학원 호르몬 분석센터에서 이루어졌다. ³H로 방사표지된 testosterone과 estradiol-17β는 Amersham제품을, 이들에 대한 항체는 각각 Sigma와 ICN제품을 사용하였다.

체혈후 전장, 체장 및 체중을 측정하였고, 이후 복부를 절개하여 생식소, 간 및 내장을 적출한 뒤 무게를 달고, 생식소는 10% 중성 포르말린에 고정하였다. 생식소, 간 및 내장의 무게를 통해 생식소증량지수 (gonado somatic index: GSI %), 간증량지수 (hepato somatic index: HSI %) 및 내장증량지수 (visceralsomatic index: VSI %)를 다음의 식으로 구하였다.

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

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

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

포르말린에 고정한 암·수의 생식소는 이후 형태학적 및 조직학적 검경을 위해 Bouin액에 일정시간 재고정하여 파라핀절편에 의해 4~6 μm 두께로 연속절편하여 조직표본을 만들었다.

제작된 표본은 Mayer's hematoxylin과 eosin으로 비교염색하였으며, 생식주기는 난소의 경우 Tyler and Sumpter (1996), 수컷의 경우 Grier (1981), Billard (1983) 및 Loir et al. (1995)를 기초로 한 Loir et al. (2001)의 방법에 따라 파악하였다.

3. 통계분석

각 실험 결과는 SPSS 통계패키지를 이용하여 ANOVA 검정과 Duncan's Multiple Range Test 법에 의해 실시하였다.

결 과

1. 생체지수 변화

실험 기간동안 농어의 월별 생체 지수는 다음과 같다. 암컷의 경우 실험 개시시 1999년 1월에 GSI가 12.07 ± 1.52였으며, 3월에 들어서면서 급격히 떨어져 4.31 ± 2.78, 이후 4월에 더욱 낮아져 10월까지 2 이하의 값을 나타내었다. 11월에 접어들면서 GSI는 급격한 상승 곡선을 그리며 9.60 ± 0.95로 증가하였고, 다음해 2월에 최대값인 24.07 ± 4.53을 나타내었다. HSI는 사육실험 개시시 1.87 ± 0.06로 큰 변화 없이 6월까지 유지되다가, 7월부터 크게 감소하여 8~9월에 1 이하의 값을 보였으며, 이후 10월부터 다시 상승하여 11월에 연중 최고값인 2.08 ± 0.14에 이르렀다. 한편 VSI는 개시시 3.03 ± 0.24로 3월까지의 일정하게 유지되었다, 4월에 이르러 상승, 6월에 최대값인 7.55 ± 0.59, 이후 8월과 9월에 다시 감소하였다 (Fig. 2).

수컷의 경우 사육실험 개시시 1월의 GSI는 8.62 ± 0.96였지만 3월로 접어들면서 2.21로 크게 감소하여 4~9월까지 1 이하의 값을 보였다. 이후 10월에 2.67 ± 0.98로 상승하는 경향을 보이기 시작해 다음 해 1월에 최대값인 9.44 ± 0.52에 이르렀다. HSI는 1~3월 1.35~1.60이던 것이, 4월부터 7월까지 지속적으로 감소하였고, 이후 8월에 접어들면서 다시 상승, 12월에 연중 최대치인 2.25에 이르렀다. VSI는 3월부터 상승 기조를 보이며 7월에 최대값인 7.37 ± 0.76이었으나, 이후 8월부터 낮아지기 시작하여, 다음 해 1월까지 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 2).

2. 생식 주기

(1) 암 컷

본 실험 결과, 암컷 농어는 4~9월까지 대부분이 휴지기 상태의 난원세포와 초기 난모세포를 보유하고 있었다. 10월에 이르러 일부 초기 난모세포들은 난황포를 형성하기 시작하였으며, 11월에는 더욱 성장, 12월에 이르러 유구 및 난황구 축적이 진행되는 난황구기 난모세포들로 발달하였다. 이후 1~2월에는 난소가 매우 발달하여, 난황형성기 난모세포는 물론이며, 산란 직전의 성숙된 난모세포를 관찰할 수 있었다. 특히 2월에 암컷 어미들은 산란성기에 도달하였으며, 육안적 관찰을 통해 1마리당 2~3회 산란하는 것을 알 수 있었다. 3월에 이르러서는 암컷 어미의 난소 내에 완숙란의 숫자가 감소하고, 배란과 산란 후 잔존 여포와 미산란 알이 퇴화 위축되고 있었다. 4월에는 일부 퇴화변성중인 알을 보유한 난소를 관찰할 수 있으나, 대부분이 난원세포와 초기 난모세포들로 채워져 있었다. 이런 난소의 모습은 9월까지 지속적으로 확인되었다 (Table 1).

(2) 수 컷

본 실험결과 대부분 수컷은 4~9월까지 정세포와 정원세포로 이루어진 휴지기의 정소 형태를 나타내었으며, 10월과 11월로 접어들면서 정소 세관은 점차 비후, 세관내에는 여러 단계의 생식세포들이 출현하기 시작하였다. 이후 12월부터 다량의 정액과 변태정자가 보였으며, 1월에 이르러 정소 조직은 각 발달단계의 생식

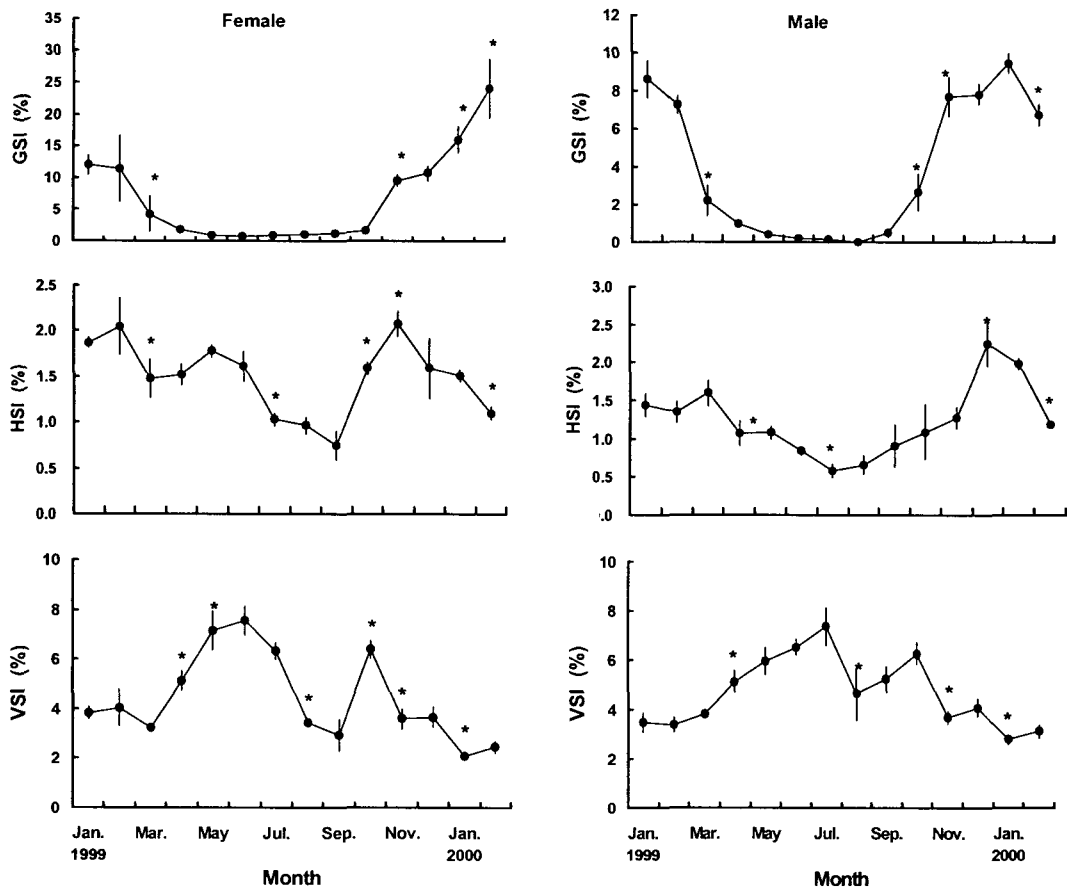


Fig. 2. Seasonal changes in gonadosomatic index (GSI), hepatosomatic index (HSI) and visceralsomatic index (VSI) of seabass, reared in indoor tank. Each point represents the mean \pm SEM (N=5 fish/month). Asterisks on the circle point indicates significantly difference value compared to that of previous stage (P<0.05).

Table 1. Monthly changes in ovary (N=5 fish/month)

Stage (♀)	Month 1999												Month 2000	
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
Vitellogenic	_____												_____	
Maturation	_____												_____	
Spawning	_____												_____	
Degeneration	_____												_____	
Rest	_____												_____	

세포낭을 형성하였으며, 내강에서 여전히 많은 양의 정액이 관찰되었다. 2월로 접어들면서는 다시 세관 상피를 따라 정원세포와 정세포의 존재가 확인되었으며, 내강에는 정자가 잔존하고 있었다. 이후 3월 퇴화의 정도가 강화되면서 4월부터 휴지 상태에 이르렀다 (Table 2).

3. 혈중 testosterone (T)와 estradiol-17 β (E₂)의 농도 변화
 암컷 농어의 혈중 T 농도 변화는 실험 개시시 1월에 0.21 \pm 0.08 ng/mL이던 것이 2월에 이르러 0.60 \pm 0.45 ng/mL으로 증가하였다. 이후 3월부터 감소하여 5월에 0.01 \pm 0.01 ng/mL에 이르며, 이후

11월까지 0.1 ng/mL 이하의 값을 보였다. 12월에 접어들면서 T의 농도는 현저히 높아져 0.43 \pm 0.16 ng/mL이었고, 다음해 1월에 연중 최대값인 1.03 \pm 0.38 ng/mL을 나타내었다. E₂의 경우는 실험 개시시 0.03 \pm 0.01 ng/mL이던 것이 2월에 다소 높은 값을 보였고, 3월에 다소 감소하기 시작하여 8월까지 극히 낮은 값을 나타내었다. 이후 9월에 접어들면서 0.12 \pm 0.01 ng/mL로 다시 높아지기 시작하여; 12월과 다음해 1월에 연중 최대값인 1.03~1.07 ng/mL이었다 (Fig. 3).

수컷에 혈중 T 농도는 실험 개시시 1월 0.41 \pm 0.08 ng/mL, 2월 0.47 \pm 0.04 ng/mL이던 것이 3월에 이르러 0.02 \pm 0.01 ng/mL로 급

Table 2. Monthly changes in testis (N=5 fish/month)

Stage (♂)	Month 1999												Month 2000	
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
Spermatogenesis														
Maturation	_____													
Spermiation	_____													
Degeneration	_____													
Rest	_____													

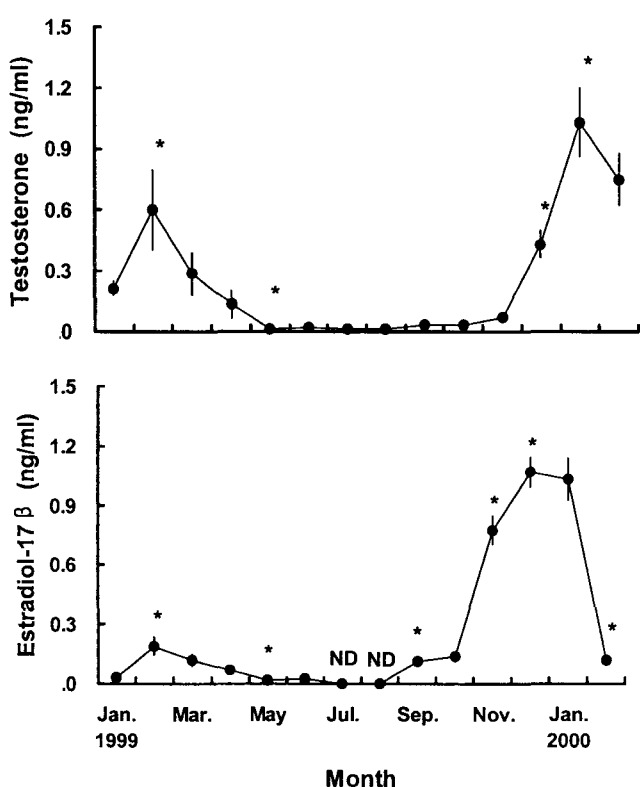


Fig. 3. Seasonal changes in testosterone and estradiol-17β of female seabass reared in indoor tank. Each point represents the mean ± SEM (N=5 fish/month). Asterisks on the circle point indicates significantly difference value compared to that of previous stage (P<0.05).

격히 낮아져, 9월까지 0.10 ng/mL 이하의 수치를 보였다. 10월에 접어들면서 상승 경향을 보여 다음 해 1월에 최대값인 0.62 ± 0.14 ng/mL을 나타내었다 (Fig. 4).

고찰

어류의 인공 종묘생산을 위해서는 대상 종으로부터 다량의 수정란을 확보하는 것이 우선적인 문제이다. 따라서 대상 종의 번식생리학적 특성을 파악하고 이들의 번식기구를 밝힐 필요가 있다. 경골어류의 생식소 발달은 주로 수온과 광주기의 환경정보에 따른

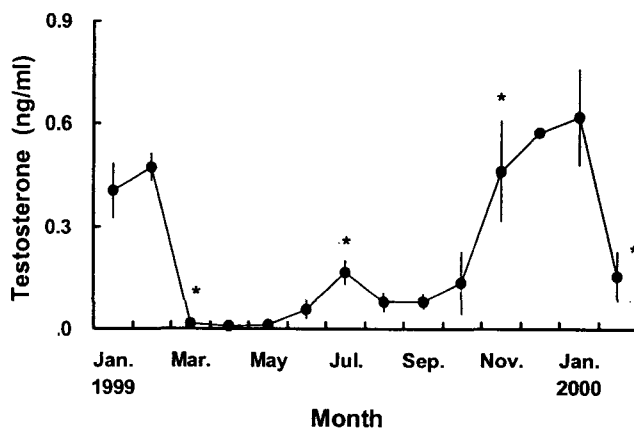


Fig. 4. Seasonal changes in testosterone of male seabass reared in indoor tank. Each point represents the mean ± SEM (N=5 fish/month). Each asterisks on the circle point indicates significantly difference value compared to that of previous stage (P<0.05).

내분비계의 작용이 이루어져야 가능하다 (Aida, 1991). 그러나 아직까지 국내에는 광염성 어류인 농어과 어류에 대한 번식 생리 및 내분비학적 기초 자료가 부족하며, 산업화를 위한 어미의 인공 성숙과 산란유도 방법의 개발이 미흡하다. 특히 최근 들어 점농어, *Lateolabrax maculatus*가 농어와 진화학적으로나 분류학적으로 (Yokogawa and Seki, 1995; Park et al., 1996) 다른 종으로 판별되어 농어에 대한 생식관련 자료의 재검토가 요구되고 있다. 이에 강 등 (2001)이 자연산 농어를 대상으로 한 연구를 통해 자연계 내에서 점농어와 농어의 생식기가 차이가 있음을 파악할 수 있었다. 그러나 이러한 자연산 농어의 생식 현상은 다수의 인위적 환경이 제공되는 양식산 개체들과 기능적, 생리학적 차이를 나타낼 것으로 생각된다. 특히 성 성숙과 관련된 주요 환경인자인 빛의 제공이 가두리 사육보다 상대적으로 미약한 실내 사육은 이들의 생식기능에 어떻게 영향을 미칠지는 알 수 없다. 따라서 본 연구는 가두리에서 사육중인 양식산 농어를 실내로 옮겨 연중 사육하면서 이들의 생리학적 반응과 생식 기능의 발현에 있어 자연산과의 차이점을 제시하고자 실시하였다.

대다수의 어류는 수온과 광주기 같은 환경요인에 따라 생식주기가 결정되며, 자손이 생존하기에 유리한 계절에 산란하는 것으로 알려져 있다 (Aida, 1991). 본 연구 결과 농어의 암컷은 10월에 성성숙을 개시하여 12월에 난황기의 난모세포를 형성, 다음해 1~

2월에 완숙에 이르러 2~3회/마리 정도의 산란을 실시하는 것으로 보인다. 이후 3월부터 난소는 완숙란의 산란 후 잔존 난모세포를 흡수 퇴화시키고, 4월부터 휴지기에 접어들었다. 수컷의 경우는 성숙이 10월부터 이루어져 12월에 완숙기에 접어들어 2월까지 방정을 하며 일부는 방정을 종료하는 개체들도 있었다. 3월에 이르러서는 퇴화기에 접어들며, 9월까지 휴지기에 머물렀다. 따라서 농어는 가을에 산란하는 점농어와 달리 겨울철~이른 봄에 산란하는 종이며, Kang et al. (2001)의 연구결과와 비교해 봤을 때 실내사육 어미의 성숙이 다소 늦게 발현된다는 것을 파악할 수 있었다. 이러한 인공사육 농어의 생식연주기는 GSI, VSI 및 HSI 변화와 관련지어 나타났으며, 특히 GSI는 생식주기와 아주 밀접하게 변화를 나타내었으며, VSI는 GSI의 움직임과는 반대의 성향을 나타내었다. 하지만 특정 시기의 증감 현상을 나타내는 HSI의 경우, 생식주기에 따른 일정한 경향을 파악할 수 없었다.

한편 이러한 생식주기 변화는 생체내 성 호르몬, 특히 T와 E₂ 같은 스테로이드 호르몬 변화와 연관성이 깊은 것으로 알려져 있다. T는 E₂의 전구물질로서 어중에 따라 난모세포의 초기성숙에 관여하고 (Patiño and Thomas, 1990), GnRH에 대한 뇌하수체의 반응을 증대시키며 (Trudeau et al., 1993), 난소에서 GtH 효과를 높여주는 것 (Fostier et al., 1983)으로 보고되고 있다. 많은 경골어류에서 암컷의 배란기 동안 혈중 T 농도와 관련성을 파악해 볼 수 있는데 (Fostier and Jalabert, 1986; Pankhurst et al., 1986; Barry et al., 1992), walleye, *Stizostedion vitreum* (Malison et al., 1994)와 amago salmon, *Oncorhynchus rhodurus* (Young et al., 1983)의 경우, T 농도는 난모세포의 최종성숙과 배란기에 증가하는 것으로 관찰된다. 그러나 산란기에 이르면서 경골어류는 급격한 T 농도의 감소를 나타낸다 (Malison et al., 1994; Barry et al., 1992). 본 연구에서도 농어 암컷의 혈중 T 농도는 난황형성기와 성숙기에 높은 수준을 유지하였지만, 산란기에 이르러 감소하기 시작하여 휴지기에는 극히 낮은 농도를 나타내는 일반적 경향을 보였다. 한편 E₂는 간의 난황전구물질 (vitellogenin)의 합성을 촉진한다 (Wallace and Selman, 1981; Ng and Idler, 1983). Walleye (Malison et al., 1994)의 경우, E₂는 난황형성 개시기에 크게 상승하다가 난모세포가 최종성숙 단계로 이행하면서 감소한다. 이러한 난모세포의 성숙과 배란전 E₂의 감소현상은 amago salmon (Young et al., 1983)에서도 보고된 바 있다. 본 연구의 결과, 암컷의 혈중 E₂ 농도는 난황형성기인 12월에 최고치를 나타내다가, 난모세포의 최종성숙 및 산란기인 2월에 급격하게 감소하였고, 이후 휴지기에는 극히 낮은 농도를 보임으로써, 다른 경골어류의 생식주기에 따른 변화 양상과 같은 경향을 보여줬다.

한편 수컷에 있어서 T 농도는 정자가 형성되기 시작하는 11월부터 증가하다가 변태기 이후, 정자 형성이 마무리되어 가는 2월에 이르러 감소하였다. 일반적으로 경골어류의 수컷은 정자 형성기에 혈중 T 농도 증가를 보이며, spermiation 시기에 감소하는 경향을 보인다. 하지만 관련 성호르몬의 일종인 11-ketotestosterone (11-KT)은 T와 반대로 오히려 spermiation 시기에 높은 농도를 보이다가 이후 감소하는 것으로 알려져 있다 (Fostier et al., 1983). 그러나 예외적으로 정어리는 정자 형성기에 혈중 T 농도의 약한 증

대, 변태기에 급격한 증가, 이후 방정에 따른 급격한 감소 경향을 나타낸다 (Matsuyama et al., 1991). 본 연구 역시 T가 정자 형성기에 깊이 관여하는 것으로 생각되며, 비록 11-KT에 대한 측정이 이루어지지 않았지만, 정자 변태기 동안 T 농도 감소는 T와 11-KT 사이 대사에 의한 변화 관계로 추정된다. 또한 농어 수컷에 있어서는 연중 생식주기 동안 혈중 T가 2번의 정점을 나타내었다. 이러한 연중 2회에 걸친 T 농도의 급격한 증대는 일부 다른 어류에서도 관찰된다 (Malison et al., 1994). 본 연구의 경우 첫 정점은 6월과 7월 사이에 확인되었고, 두 번째의 농도 증대는 정모세포 형성기인 10월부터 즉 산란 개시기인 다음 해 1월까지로 나타났다. 이것은 blue cod, *Paraperis colias* (Pankhurst and Conroy, 1987), sea bass, *Dicentrarchus labrax* (Prat et al., 1990)의 연구결과와 일치하는 것으로, 일반적으로 T는 부수적으로 수컷의 생식 행동을 자극하거나 뇌하수체의 GTH를 증가시킬 수 있으며, 또한 11-KT 같은 다른 스테로이드 물질 생산에 있어 전구체로서 작용할 수도 있기 때문에 (Kobayashi et al., 1987), 이 같은 두 번째의 T 농도의 급격한 증대는 수컷의 생식 기능에 있어 중요한 의미를 지닐 수 있다. 이후 수컷 농어의 혈중 T 농도는 잉어 (Barry et al., 1990), 무지개송어 (Liley et al., 1986) 및 white sucker, *Catostomus commersoni* (Scott et al., 1984) 등에서 관찰된 것 처럼 최정점의 산란 시점을 고비로 급격히 낮아졌다.

이상과 같이 실내 사육 농어는 11월에 최종성숙이 이루어져 12~1월에 산란이 이루어지는 자연산 농어 (Kang et al., 2001)와 비교해 볼때 성숙·산란시기 (1~3월)가 다소 늦지만, 모두 정상적으로 생식 기능을 발휘하는 것을 알 수 있었으며, 인공사육 조건에서 어미 성숙과 자연 산란을 유도했다는 점에서 수정란 대량 생산 가능성을 열어주었다. 하지만 본 연구가 특정 해역에서 이루어졌기 때문에, 만약 다른 해역 또는 다른 환경의 연안수를 활용한 실내사육이 실시될 경우, 어미의 연간 성숙 과정과 산란 시기가 반드시 본 연구 결과와 동일하지 않고 유동적일 것으로 판단된다. 따라서 차후에 대량의 수정란 생산을 위한 최적 성숙 및 산란 조건 구명이 보다 깊이 있게 이루어져야 하며, 이를 통한 어미 관리체계의 표준사양화가 진행되어야 할 것이다.

요 약

본 연구는 3년생 양식 가두리산 어미를 실내 수조로 옮긴 뒤 연중 생식소와 호르몬의 주년 변화를 파악하기 2년 동안 매달 샘플을 실시하였다. 형태학적·내분비학적 분석 결과 수컷은 암컷에 비해 앞서 성숙이 진행되고, 산란은 1월말에서 3월 사이에 이루어졌다. 산란기 이후 다음해 1월까지 모든 암컷은 난황형성 이전 단계에 머물러 있었고, 수컷 중 일부는 정자형성 활성을 다시 나타내기 시작했다. 10월에 접어들면서 일조량의 감소와 함께 성장 중인 난모세포에서 cortical alveoli이 나타나기 시작하고, 정자 형성이 점차 늘어났다. 10월과 2월 사이 암컷은 vitellogenesis, 수컷은 spermatogenesis가 일어나며, 난소 성숙지수는 암컷이 4.3~24.1%, 수컷은 6% 이상으로 증가하였다. 그리고 산란력 평가를 통해 농어는 다른 해산어류와 유사한 산란 전략을 지니고 있었으며, 다회

산란의 특성을 지니고 있었다. 또한 농어의 생식기 과정동안에 이루어진 성 호르몬인 testosterone (T)과 estradiol-17 β (E₂)의 분석 결과 생식기 발달에 따른 농도의 변화가 있는 것으로 확인되었다. 특히 11월에서부터 2월까지 높은 혈중 T와 E₂의 농도는 이 시기 수컷의 정자형성과 난소의 성숙란 형성에 있어 이들 호르몬의 관련성이 확인되었다. 이상의 결과로 양식산 농어의 생식기능은 실내 수조에서 발현이 되며, 따라서 인공종묘생산에 필요한 수정란 생산이 실내 수조에서 가능하다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

- Aida, K. 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleostes, *Bull. Inst. Zool., Academia Sinica, Monograph*, 16, 173~187.
- Aida, K., T. Kato and M. Awaji. 1984. Effects of castration on the smoltification of precocious male masu salmon *Oncorhynchus masou*. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 50, 565~571.
- Barry, T.P., K. Aida, T. Okumura and I. Hanyu. 1990. The shift from C-19 to C-21 steroid synthesis in spawning male common carp, *Cyprinus carpio*, is regulated by the inhibition of androgen production by progestogens produced by spermatozoa. *Biol. Reprod.*, 43, 105~112.
- Barry, T.P., L.S. Procarione, A.F. Lapp and J.A. Malison. 1992. Induced final oocyte maturation and spawning in walleye (*Stizostedion vitreum*). In *Abstracts, World Aquaculture Soc., World Aquaculture Society, Baton Rouge*, p. 35.
- Baynes, S.M. and A.P. Scott. 1985. Seasonal variation in parameters of milt production and in plasma concentration of sex steroids of male rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Gen. Comp. Endocrinol.*, 57, 150~160.
- Billard, R. 1983. A quantitative analysis of spermatogenesis in the trout, *Salmo trutta fario*. *Cell Tissue Res.*, 230, 495~502.
- Fostier, A. and B. Jalabert. 1986. Steroidogenesis in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) at various preovulatory stages: Changes in plasma hormone levels and *in vivo* and *in vitro* responses of the ovary to salmon gonadotropin. *Fish Physiol. Biochem.*, 2, 87~99.
- Fostier, A., B. Jalabert, R. Billard, B. Breton and Y. Zohar. 1983. The gonadal steroids. In *Fish Physiology*. Vol. 9A (Eds. by W.S. Hoar, D.J. Randall and E.M. Donaldson), Academic Press, New York, pp. 277~372.
- Grier, H.J. 1981. Cellular organization of the testis and spermatogenesis in fishes. *Am. Zool.*, 21, 345~357.
- Kang, D.Y., H.K. Han and C.M. An. 2001. Reproductive cycle of seabass, *Lateolabrax japonicus*. *J. Korean Ichthy. Soc.*, 13, 39~45 (in Korean).
- Kobayashi, M., K. Aida and I. Hanyu. 1987. Hormone changes during ovulation and effects of steroid hormones on plasma gonadotropin levels and ovulation in goldfish. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 67, 24~32.
- Liley, N.R. and N.E. Stacey. 1983. Hormones, pheromones and reproductive behavior in fish. In *Fish Physiology* Vol. 9A, pp. 1~63 (Eds. by W.S. Hoar, D.J. Randall and E.M. Donaldson), Academic Press, New York.
- Liley, N.R., B. Breton, A. Fostier and E.S.P. Tan. 1986. Endocrine changes associated with spawning behavior and social stimuli in a wild population of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): I. Males. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 62, 145~156.
- Loir, M., F.L. Gac, S. Somarakis and M. Pavlidis. 2001. Sexuality and gonadal cycle of the common dentex (*Dentex dentex*) in intensive culture. *Aquaculture*, 194, 363~381.
- Loir, M., P. Sourdain, S.M. Mendi-Handaagama and B. Jegou. 1995. Cell-cell interactions in the testis of teleosts and elasmobranchs. *Microsc. Res. Tech.*, 32, 533~552.
- Malison, J.A., L.S. Procarione, T.P. Barry, A.R. Kapuscinski and T.B. Kayes. 1994. Endocrine and gonadal changes during the annual reproductive cycle of the freshwater teleost, *Stizostedion vitreum*. *Fish Physiol. Biochem.*, 13, 473~484.
- Matsuyama, M. S. Adachi, Y. Nagahama, C. Kitajima and S. Matsuura. 1991. Testicular development and serum levels of gonadal steroids during the annual reproductive cycle of captive Japanese sardine. *Japan. J. Ichthyol.*, 37, 381~390.
- Ng, T.B. and D.R. Idler. 1983. Yolk formation and differentiation in teleosts. In *Fish Physiology* Vol. 9A, pp. 373~397 (Ed. by W.S. Hoar, D.J. Randall and E.M. Donaldson), Academic Press, New York.
- Pankhurst, N.W. and A.M. Conroy. 1987. Seasonal changes in reproductive condition and plasma levels of sex steroids in the blue cod, *Paraperis colias* (Bloch and Schneider) (Mugiloididae). *Fish Physiol. Biochem.*, 4, 15~26.
- Pankhurst, N.W., G. Van Der Kraak and R.E. Peter. 1986. Effects of human chorionic gonadotropin, DES-GLY¹⁰ (D-ALA⁶) LHRH-ethylamide and pimozone on oocyte final maturation, ovulation and levels of plasma sex steroids in walleye (*Stizostedion vitreum*). *Fish Physiol. Biochem.*, 1, 45~54.
- Park, J.Y., K.K. Kim and Y. Kim. 1996. Genetic characterization of two types of sea bass, *Lateolabrax japonicus* in Korea by isozyme analysis. *J. Aquaculture*, 9, 437~444.
- Patiño, R. and P. Thomas. 1990. Effects of gonadotropin on ovarian intrafollicular processes during the development of oocyte maturational competence in a teleost, the Atlantic croaker: Evidence for two distinct stages of gonadotropic control of final oocyte maturation. *Biol. Reprod.*, 43, 818~827.
- Prat, F., S. Zanuy, M. Carillo, A. de Mones and A. Fostier. 1990. Seasonal changes in plasma levels of gonadal steroids of sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 78, 361~373.
- Scott, A.P., D.S. MacKenzie and N.E. Stacey. 1984. Endocrine changes during natural spawning in the white sucker, *Catostomus commersoni*. II. Steroid hormones. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 56, 349~359.
- Trudeau, V.L., C.K. Murthy, H.R. Habibi, B.D. Soley and R.E. Peter. 1993. Effects of sex steroid treatments on gonadotropin-releasing hormone-stimulated gonadotropin secretion from the goldfish pituitary. *Biol. Reprod.*, 48, 300~307.
- Tyler, C.R. and J.P. Sumpter. 1996. Oocyte growth and development in teleosts. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 6, 287~318.
- Ueda, H., A. Kambegawa and Y. Nagahama. 1985. Involvement of gonadotropin and steroid hormones in spermiation in the amago salmon, *Oncorhynchus rhodurus* and goldfish, *Carassius auratus*. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 59, 24~30.
- Wallace, R.A. and K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. *Am. Zool.*, 21, 325~343.

Yokogawa, K and S. Seki. 1995. Morphological genetic differences Japanese and Chinese sea bass of genus *Lateolabrax*. J. Ichthyol., 41, 437~445.

Young, G., H. Kagawa and Y. Nagahama. 1983. Evidence for a decrease in aromatase activity in the ovarian granulosa cells of

amago salmon (*Oncorhynchus rhodurus*) associated with final oocyte maturation. Biol. Reprod., 29, 310~315.

2002년 7월 23일 접수

2002년 11월 13일 수리