

동사리, *Odontobutis platycephala* (Iwata et Jeon) 암컷의 생식주기와 혈중 성스테로이드 호르몬의 변화

이 원 교
여수대학교 양식학과

Annual Reproductive Cycle and Changes in Plasma Levels of Sex Steroid Hormones of the Female Korean Dark Sleeper, *Odontobutis platycephala* (Iwata et Jeon)

Won-Kyo LEE

Department of Aquaculture, Yosu National University, Yosu Chonnam 550-749, Korea

To clarify annual reproductive cycle of Korean dark sleeper, *Odontobutis platycephala* (Iwata et Jeon), we examined the seasonal changes of gonadosomatic index (GSI), the proportional frequency of oocyte development stages in the ovary and the changes of sex steroid hormone levels in blood from December 1995 to November 1997. In July and August, GSI was 0.35 to 0.72 and most oocytes in the ovary were chromatin-nucleolus stage and perinucleolar stage (proportional frequency: 87%~96%). In September, GSI was 1.20 ± 0.12 , some oocytes in the ovary were yolk vesicle stage (proportional frequency: 22.8%) and vitellogenic stage which appeared very rarely (proportional frequency: 2.2%). GSI increased gradually from October and reached 4.59 ± 0.61 to December. During this period, oocytes of vitellogenic stage increased slightly (proportional frequency in December: 22.1%). In January, GSI was 4.32 ± 0.72 but the proportional frequency of oocytes in vitellogenic stage increased (proportional frequency: 51.2%). From February, GSI was increased sharply and reached to 10.51 ± 1.04 in March, the highest value throughout the year and the proportional frequency of oocytes in vitellogenic stage also reached the highest levels (proportional frequency: 60%). From April, GSI was gradually decreased and fell down to 1.11 ± 0.35 in June. During this period, the proportional frequency of mature oocytes was the highest in April (proportional frequency of mature oocyte stage: 40% in April, 12% May, 5% June) throughout the year, and atretic ovarian follicles were appeared.

The blood level of estradiol-17 β (E_2), which stimulates the hepatic synthesis and secretion of vitellogenin, was 0.84 ± 0.20 ng/ml in August, and thereafter was not changed until December. From January, it increased sharply and reached the highest level of 2.85 ± 0.35 ng/ml in March throughout the year, but fell to 0.14 ± 0.02 ng/ml in July ($P < 0.05$). 17 α -hydroxyprogesterone (17 α -OHP) was the peak 13.37 ± 0.52 ng/ml in March, but no significant changes in other period (below 3 ng/ml, $P < 0.05$). 17 α , 20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one (17 α , 20 β -P), which was known as the final maturation inducing hormone in teleost, was 0.74 ± 0.09 ng/ml in April and 0.54 ± 0.07 ng/ml in May, but no significant changes in other period (below 0.26 ng/ml, $P < 0.05$).

Taken together these results, the annual reproductive cycle of *O. platycephala* divided into 4 periods as follows: 1) ripe and spawning period from April to June, main spawning period was from April to May, 2) Resting period from July to August, 3) Growing period from September to December, 4) Maturing period from January to March. Moreover, It was showed that the changes of sex steroid hormone in blood played a important roles in the annual reproductive cycle of *O. platycephala*.

Key words: annual reproductive cycle, *Odontobutis platycephala*, sex steroid hormone

서 론

동사리(*Odontobutis platycephala*)는 농어목(Perciformes) 동사리과(Odontobutisidae) 동사리屬에 속하는 한국 특산 어종으로(Chung, 1977; The Korean Society of Systematic Zoology, 1997), 우리 나라 대부분의 하천 중·하류의 유속이 완만하고 모래나 자갈이 많은 곳에 서식하며, 수서 곤충이나 작은 어류를 먹고사는 육식성 어류로 알려져있다(김·강, 1993).

동사리류에 대한 연구는 분류학적 및 지리적 분포 연구(Kim et al., 1986)와 동사리와 얼룩동사리, *Odontobutis obscurus interrupta*의 개체발생학적 연구(Iwata et al., 1987; Iwata et al., 1988)가 있으며, 어류의 생식주기는 참돔, *Pagrus major* (Ouchi et al., 1988a; 1988b), 금붕어(Hanyu and Razani, 1986), 차멜메기, *Ictalurus punctatus* (Mackenzie et al., 1989), *Repromucenns beniteguri* (Zhu et al., 1989) 및 은어, *Plecoglossus altivelis* (Hirose et al., 1985) 등 많은 종에서 난소여포의 발달양상의

변화와 생식 내분비학적 연구가 함께 수행되었다. 그러나 한국 특산 어종의 생식주기에 관한 연구는 각시붕어 *Rhodeus uyekii* (An, 1995a; 1995b)와 꺾지, *Coreoperca herzi* (Kim, 1997)를 대상으로 수행되었으며, 내분비학적 접근은 거의 없는 실정이다.

경골어류에서 성스테로이드 호르몬의 혈중 농도 변화 양상은 생식주기 조절과 긴밀한 관련이 있는 것으로 알려졌다. 생식소자극호르몬(gonadotropin, GtH)의 자극으로 여포세포에서 생성된 estradiol-17 β (E₂)는 간에서 난황전구체의 합성·분비를 유도하여 난모세포에 축적시킴으로써 난모세포의 성장을 주도한다(Kagawa et al., 1982, Yoshikuni and Nagahama, 1991). 또한, 17 α ,20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one (17 α ,20 β -P), 17 α ,20 β ,21-trihydroxy-4-pregnen-3-one (17 β ,20 β ,21-P) 등 C-21계 성스테로이드 호르몬은 난모세포의 최종 성숙에 관여하는 것으로 알려져있다(Nagahama, 1987a; Trant et al., 1986; Trant and Thomas, 1989; Thomas, 1994). 이러한 내분비학적 연구는 성숙 또는 산란 유도를 통해 인공 채란 기술개발에 활용되고 있다(Richter et al., 1987, Kagawa et al., 1997).

한국 특산 어종의 보전 및 유전자원 확보에 기여하고, 우리 고유의 어류를 생물학적 실험모델로 정착시키기 위해서는 생식주기와 이에 관련된 성스테로이드 호르몬에 대한 연구가 반드시 필요하다. 따라서 동사리의 인공채란 기술개발 기초자료를 확보하고, 명확한 생식주기와 성스테로이드 호르몬의 변화양상을 밝히고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

동사리는 1995년 12월부터 1997년 11월까지 경상남도 산청군 경호강에서 매일 채집하였으며, 외형적으로 암·수 구분이 어려워 연구실에서 해부 후 암컷을 7개체 이상 실험하였다. 실험 개체의 전장 범위는 12.8~20.5 cm였으며, 체중 범위는 24~124 g이었다. 채집 시마다 채집장소의 수온을 기록하였으며, 팽주기는 진주 기상대의 측정 결과를 이용하였다.

채집된 재료는 활어 상태로 실험실로 옮겨 전장은 0.1 cm, 체중은 0.01 g까지 측정하였으며, 미부하동맥으로부터 해파린 처리된 1회용 주사기(1 ml, 녹색자)로 혈액을 채취하여 4°C에서 10,000 \times g로 10분간 원심분리한 후 상등액을 취해 -45°C에서 스테로이드 정량 시까지 보관하였다. 이후 복부를 절개해 난소를 적출하여 0.001 g까지 무게를 측정하고 Bouin's solution에 고정시킨 다음,

paraffin법에 따라 5 μ m로 연속절편을 제작하여 Delafield's hematoxylin과 eosin으로 염색하였다. 보다 정밀한 표본은 Technovit resin (Kulser)에 포매하고 1 μ m 절편을 제작 toluidine blue 1%로 염색하여 광학현미경하에서 난모세포와 여포세포의 발달양상을 조사하였다. 각 난소의 전반부, 중앙부 및 후반부의 가운데 부분의 조직 표본에서 발달 단계별 난모세포의 수를 백분율로 산정하여 나타낸 출현 빈도(proportional frequency: 발달 단계별 난모세포 수 \times 100/전체 난모세포 수)와 생식소중량지수(gonadosomatic index, GSI=생식소중량 \times 100/체중)의 변화를 종합하여 생식주기에서 각 시기를 판정하였다. 난모세포의 직경은 현미경의 마이크로 메타를 이용하여 장경과 단경을 계측한 평균값을 사용하였다. 난모세포 발달 단계의 구분은 Kaneko and Hanyu (1985)의 방법을 따랐다.

스테로이드 호르몬은 방사면역측정법(radioimmunoassay)으로 측정하였으며 측정 방법은 Ueda et al. (1985)의 방법을 따랐다. 먼저 각 개체의 혈장을 diethyl ether 3 ml로 3번 추출하여(recovery ratio : E₂=87%, 17 α -OHP=95%, 17 α ,20 β -P=93%) 질소가스 하에서 증발시킨 다음, 100 μ l의 gelatin phosphate buffered saline (NH₂PO₄ 11.6 g/l, NaCl 8.8 g/l, thimerosal 0.1 g/l, gelatin 1 g/l, pH 7.3, 4°C)으로 재구성하였다. 여기에 5,000~6,000 cpm/100 μ l의 추적자와 항혈청을 각각 100 μ l씩 넣고, 잘 섞은 후 4°C에서 17~20시간 배양하였다. 배양 후 dextran coated charcoal 200 μ l를 첨가하여 4°C에서 10분간 진탕시킨 후 원심분리 (500 \times g, 10 min, 4°C)하여 상층액을 counting vial로 옮겼다. 각 vial에 scintillation cocktail (ready safe, Beckman)을 4 ml씩 넣고 β -counter (Beckman, LS 6500)로 측정된 다음 ImmunoFit EIA/RIA program (Beckman)을 이용하여 personal computer에서 스테로이드의 농도를 계산하였다. 실험내 (intra-assay)와 실험간(inter-assay) 변이계수는 E₂가 각각 9.7%, 8.8%였으며, 17 α -OHP는 6.2%와 8.2%, 그리고 17 α ,20 β -P가 8.7%, 9.4%였다. 추적자로서 E₂는 2,4,6,7-³H-oestradiol (85Ci/mmol, Amersham), 17 α -OHP는 1,2,6,7-³H-17 α -hydroxyprogesterone (58.5Ci /mmol, Amersham)을 사용하였으며, 17 α ,20 β -P의 추적자인 1,2,6,7-³H-17 α ,20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one는 1,2,6,7-³H-17 α -hydroxyprogesterone (58.5Ci /mmol, Amersham)으로부터 3 α ,20 β -hydroxysteroid dehydrogenase (Sigma)를 이용해 합성하여 사용하였다. E₂와 17 α -OHP의 항혈청은 한양대 윤용달 교수로부터 제공받았으며, 17 α ,20 β -P의 항혈청은 일본 기초생물학연구소 Nagahama 교수로

부터 제공받았다. E₂의 항혈청과 다른 스테로이드와의 교차반응도는 estrone이 1.7%이고 그 외의 스테로이드는 0.01% 이하였으며 (Kwon et al. 1991), 17 α -OHP의 항혈청과 다른 스테로이드와의 교차반응도는 17 α ,21-dihydroxyprogesterone과 1.6%, progesterone과 0.8%, pregnenolone과 0.001%, cortisol과 0.03%이었고 이외의 스테로이드와는 0.001% 이하였다(Ahn et al. 1991). 17 α , 20 β -P의 항혈청은 17 α ,20 β -dihydroxy-5 β -pregnen-3-one, 17 α ,20 β ,21-trihydroxy-4-pregnen-3-one, 17 α -hydroxyprogesterone, 20 β -hydroxyprogesterone, 17 α -methyltestosterone과 각각 2.54, 1.55, 0.82, 0.03, 0.01% 이하로 교차하였다 (Tamaru et al. 1991).

통계처리 방법으로는, 두 실험군간의 통계적 유의성은 Student's *t*-test로, 실험군들의 연중 변화에 대한 유의성은 Duncan's multiple-range test로 분석하였으며, *P*값이 0.05 보다 작은 경우를 유의하다고 판단하였다.

결 과

1. 수온 및 광주기

동사리 채집지역의 수온과 광주기의 월별변화를 Fig. 1A에 나타내었다. 조사 기간 중 수온 범위는 1~28°C였다. 12월 7°C에서 1월에 1°C까지 낮아졌으며, 2월에는 2°C였다. 이후 수온은 상승하여 3월 8°C, 4월 11°C, 5월 20°C, 6월 23°C, 7월 24°C에 달하였으며, 8월에 28°C로 가장 높았다. 9월부터 수온은 9월 25°C, 10월 20°C, 11월에 13°C로 이듬해 1월까지의 하강하는 경향을 보였다.

월별 광주기의 변화를 보면 낮길이가 12월이 9.7hL로 가장 짧았으며, 이후 길어지기 시작하여 1월 10.7hL, 2월 11.6hL, 3월 12.5hL, 4월 13.7hL, 5월 14.3hL, 6월에 14.6hL로 가장 길었다. 7월부터 다시 짧아져 11월에는 10.1hL로 12월까지 짧아지는 경향을 보였다.

2. GSI의 변화

동사리 암컷의 월 별 GSI의 변화는 Fig. 1B에 나타내었다. 12월과 1월의 GSI는 각각 4.59 \pm 0.61, 4.32 \pm 0.72로 비슷하였으며 2월부터 급속하게 상승하여 3월에는 연중 가장 높은 10.51 \pm 1.04를 나타냈다(*P*<0.05). GSI는 4월 6.81 \pm 0.47, 5월 6.10 \pm 1.25, 6월 1.11 \pm 0.35로 감소하여 7월에 0.35 \pm 0.05로 가장 낮았으며, 8월은 0.72 \pm 0.15로 비슷한 수준을 유지했다(*P*<0.05). 그러나 9월에 1.20 \pm 0.12, 10월, 2.81 \pm 0.21, 11월에는 3.75 \pm 0.31로 12월까지 완만하게 상승하는 경향을 보였다(*P*<0.05).

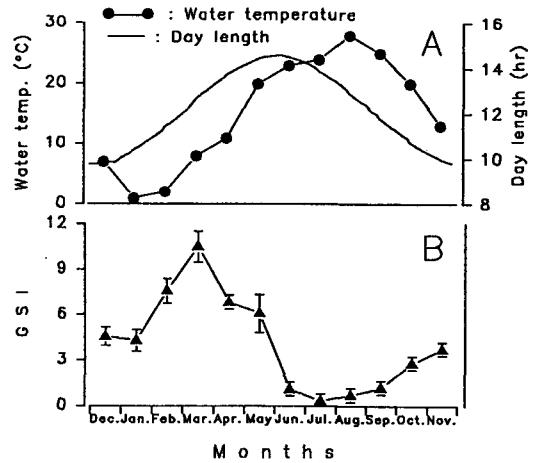


Fig. 1. Monthly changes in water temperature, day length (A) and gonadosomatic index (GSI, B) under natural condition in female *O. platycephala*. Each GSI is mean \pm SEM.

3. 난소의 조직학적 변화

난소내 난모세포의 발달 단계 및 여포세포의 변화를 Table 1과 Fig. 2에 나타내었다. 7~8월의 난소에서는 난원세포, 제1 감수분열 전기의 난모세포군(염색인기) 및 핵막 안 쪽에 몇 개의 인을 지닌 난모세포들(주변인기)이 주로 나타났다(Fig. 2a). 9월의 난소에서는 난황포(yolk vesicle)가 축적되고 있는 난모세포(난황포기)들과 이를 둘러싸고 있는 여포세포(follicle cell)를 뚜렷이 볼 수 있었다(Fig. 2b). 10월부터 3월까지의 난황축적으로 난모세포(난황형성기)는 크게 성장하기 시작했으며, 여포세포들 중 과립막세포들의 크기도 증가하였다(Fig. 2c). 일부 개체에서는 난모세포가 배란되지 않은 채 퇴화되는 난소여포들도 나타났다(Fig. 2d). 4월이 되면서 난핵포(germinal vesicle)가 이동중인 난모세포(성숙기)들이 출현하였으며(Fig. 2e), 5월에는 배란된 난소여포와 퇴화되는 난소여포들도 나타났다(Fig. 2f).

4. 난소의 성숙도 변화

난소의 성숙도를 각 발달 단계의 난모세포들의 출현 빈도의 변화로 Fig. 3에 나타내었다. GSI가 연중 가장 낮았던 7월에는 퇴화기 난소여포가 10 \pm 1.5%로 일부 나타났다, 주로 염색인기와 주변인기 난모세포가 86.7 \pm 9.8%를 차지하였으며, 8월에는 95.6 \pm 9.6%로 휴지기임을 보여주고 있다. 9월에는 난황포기의 난모세포들이 22.8 \pm 4.1%였으며 난황형성기의 난모세포도 출현하였으나 2.2 \pm 0.3%로 극히 일부에 지나지 않았다. 10월부터

Table 1. Microscopic characteristics for the determination of ovarian developmental stage in female *O. platycephala*

Ovarian stage	Oocyte diameter (μm)	Histological appearance
I. Chromatin-nucleolus stage	≥ 30	This stage encompassed the various chromosomal stages from leptotene to onset of pachytene during prophase of the first meiotic division
II. Perinucleolar stage	30~100	This stage was normally marked by the appearance and onset of migration of multiple nucleoli to the peripheral nucleoplasm.
III. Yolk vesicle stage	90~450	This stage was marked by the appearance of yolk vesicle in the cytoplasm.
IV. Vitellogenic stage	400~1500	The oocyte diameter increased markedly due to yolk accumulation. The architecture of the follicular wall increased in complexity during this stage.
V. Mature stage	1200~1900	This stage was marked by migration of germinal vesicle and germinal vesicle breakdown.
VI. Atretic stage		Atresia and absorption of yolky oocyte occurred, if not ovulate.

터는 GSI의 완만한 증가와 더불어 난황형성기 난모세포들도 증가하여 12월에는 $22.1 \pm 2.7\%$ 에 달하였으며, 난황포기 난모세포들은 $16.5 \pm 1.5\%$ 였다. 따라서 9월부터 12월까지의 성장기임을 보여주고 있다. 1월에는 난황형성기 난모세포들이 $51.2 \pm 7.5\%$ 로 증가하였으며, 3월에는 $60 \pm 6.4\%$ 로 연중 최고 수준에 이르렀다. 따라서 1월부터 3월까지가 성숙기임을 보여준다. 4월에는 성숙기 난모세포들이 $40 \pm 3.5\%$ 로 연중 가장 높았고, 5월과 6월에는 각각 $12 \pm 1.3\%$, $5 \pm 0.4\%$ 로 나타났다. 이 기간에는 난황형성기 난모세포는 계속 존재하면서 배란된 난소여포 및 퇴화되는 난소여포들이 나타났다. 따라서 4월부터 6월까지의 완숙 및 산란기이며, 성숙기 난모세포의 비율이 급격히 낮아지는 4월과 5월이 주산란기임을 보여주고 있다.

5. 혈중 스테로이드 호르몬의 변화

동사리 암컷에서, 혈중 E_2 와 $17\alpha\text{-OHP}$ 및 $17\alpha,20\beta\text{-P}$ 의 농도의 변화는 Fig. 4에 나타내었다.

혈중 E_2 의 농도(Fig. 4A)는 12월에는 $1.02 \pm 0.21 \text{ ng/ml}$ 였으며, 1월부터 증가하여 $1.79 \pm 0.43 \text{ ng/ml}$, 2월에는 $2.30 \pm 0.33 \text{ ng/ml}$ 였으며, GSI가 가장 높았던 3월에 $2.39 \pm 0.39 \text{ ng/ml}$ 로 연중 최고 수준에 이르렀다. 4월에는 $0.86 \pm 0.13 \text{ ng/ml}$ 로 감소하여 6월 $0.19 \pm 0.07 \text{ ng/ml}$, 7월에는 $0.14 \pm 0.02 \text{ ng/ml}$ 까지 낮아졌다. 그러나 8월부터는 $0.84 \pm 0.20 \text{ ng/ml}$ 로 다시 상승하여 12월까지 비슷한 수준을 유지하였다($P < 0.05$).

혈중 $17\alpha\text{-OHP}$ 의 농도(Fig. 4B)는 12월에 $2.63 \pm 1.20 \text{ ng/ml}$ 로 1월과 비슷하였으며, 2월부터는 $4.20 \pm 1.32 \text{ ng/ml}$

로 증가하며 3월에 $13.37 \pm 0.52 \text{ ng/ml}$ 로 연중 최고 수준에 이르렀다. 5월에는 $0.25 \pm 0.05 \text{ ng/ml}$ 로 연중 최저 수준으로 낮아졌으며, 6월부터 12월까지 3 ng/ml 이하로 유의한 변화를 보이지 않았다($P < 0.05$).

혈중 $17\alpha,20\beta\text{-P}$ 의 농도(Fig. 4C)는 12월에 $0.19 \pm 0.04 \text{ ng/ml}$ 였으며, GSI가 높았던 3월까지의 비슷한 수준을 유지하였다. 이 후 급격히 증가하여 주산란기인 4월에 $0.74 \pm 0.09 \text{ ng/ml}$ 로 가장 높았으며, 5월까지 $0.54 \pm 0.04 \text{ ng/ml}$ 로 높은 농도를 유지하였다. 6월부터 급격히 감소하여 이듬해 3월까지 $0.19 \sim 0.09 \text{ ng/ml}$ 의 수준으로 유의한 변화를 보이지 않았다($P < 0.05$).

고 찰

생식 주기의 구분에 있어서 동자개, *Pseudobagrus fulvidraco* (Lim and Han, 1997)는 성장기, 성숙기, 성숙 및 산란기, 퇴화기, 휴지기의 다섯 시기로 구분하며, 파랑볼우럭, *Lepomis macrochirus* (Lee and Kim, 1987)은 성장기, 성숙기, 완숙 및 산란기, 퇴화 및 휴지기의 네 시기로 보고되어 어종에 따라 다른 것으로 알려졌다. 동사리에서는 산란기인 5월부터 휴지기인 7월까지 배란 후 퇴화되는 난소여포들이 나타나 퇴화기를 다른 시기와 분리하기 어려웠다(Fig. 2f). 따라서 동사리의 생식주기는 4월부터 6월까지 완숙 및 산란기, 7월부터 8월은 휴지기, 9월부터 12월은 성장기, 1월부터 3월까지의 성숙기의 네 시기로 구분되었다.

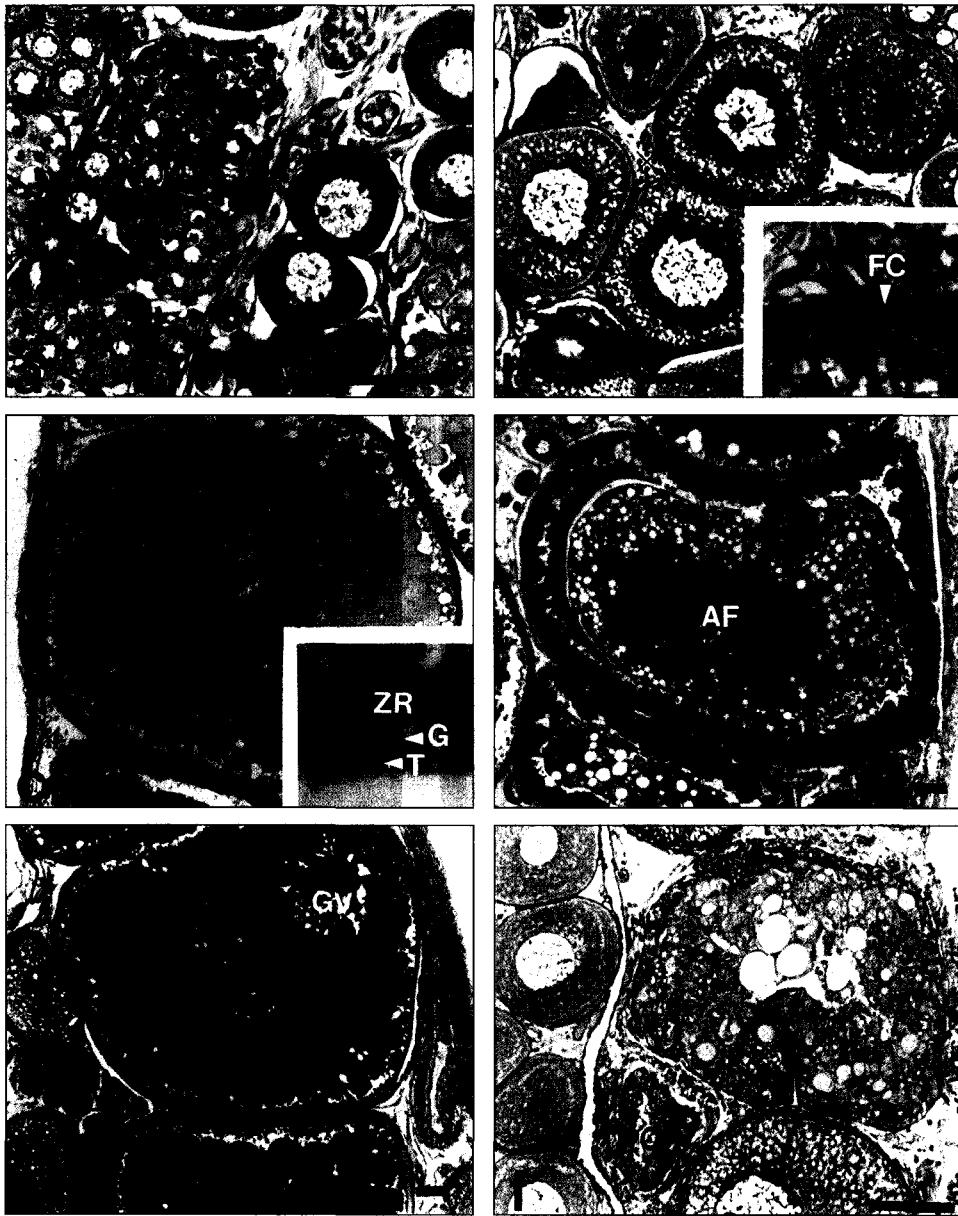


Fig. 2. Monthly variation in ovarian histology of female *O. platycephala*; Bouin's solution fixation; Technovit resin section; 1 % toluidin blue staining; a: Section of ovary during resting period (July), Note the oogonia, various chromosomal stage and perinucleolar stage oocytes, b: Section of ovary during growing period (September). Note yolk vesicles found in ooplasm, Small micrograph was 4 times high magnification of marking site (*). Note formation of follicle cells, c: Section of ovary during maturing period ovary (January), Note yolk accumulation and increase of oocyte diameter, Small micrograph was 10 times magnification of marking site (*), Note zona radiata, granulosa cell and thecal cell, d: Section of ovary during maturing period (January), Note atretic ovarian follicle was appeared, e: Section of ovary during ripe and spawning period (April), Note the migration of germinal vesicle, f: Section of ovary during ripe and spawning period (May), Note atretic ovarian follicle and ovulated ovarian follicle, AF: atretic ovarian follicle; CN: chromatin nucleus oocyte; FC: follicle cells; G: granulosa cell; GV: germinal vesicle; Nu: nucleolus; POF: post-ovulatory ovarian follicle; Og: oogonia; T: thecal cell; YV: yolk vesicle; ZR: zona radiata. Scale bars: 100 μ m.

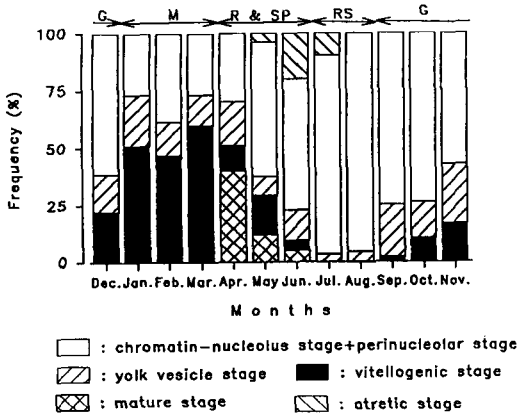


Fig. 3. Relationship between proportional frequency of ovarian stage and annual reproductive cycle of the *O. platycephala*. The proportional frequency represents as mean \pm SEM. See table 1 for histological descriptions.

R & SP: ripe and spawning period; RS: resting period; G: growing period; M: maturing period.

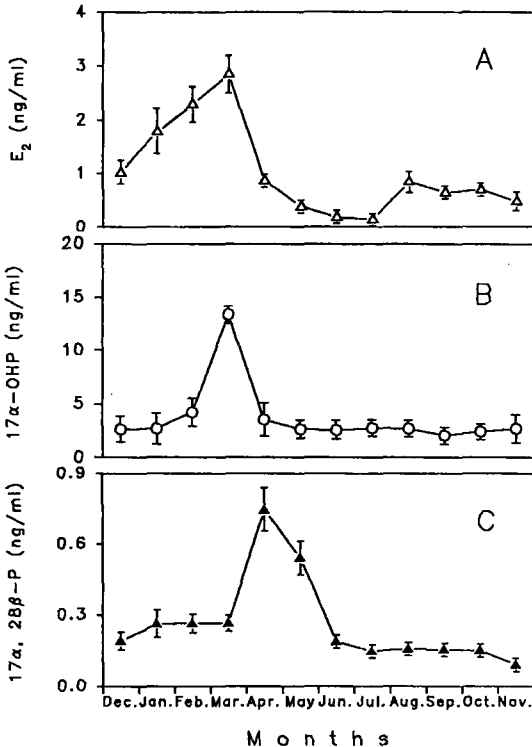


Fig. 4. Monthly changes in plasma E_2 (A), 17α -OHP (B), $17\alpha, 20\beta$ -P (C) levels in female *O. platycephala*. Values are mean \pm SEM. E_2 : estradiol- 17β ; 17α -OHP: 17α -hydroxyprogesterone; $17\alpha, 20\beta$ -P: $17\alpha, 20\beta$ -dihydroxy-4-pregnen-3-one.

어류에 있어서 생식주기를 제어하는 환경요인으로는 수온과 광주기가 중요한 요인으로 알려져 있으며 (Lam, 1983; Razani et al., 1988; 羽生, 1991; Shimizu et al., 1994), 많은 어종에 있어서 수온과 광주기의 변화에 따라 자손이 생존하기 가장 유리한 계절에 산란을 함으로써 봄 산란형, 봄·여름 산란형, 여름 산란형, 가을 산란형, 겨울 산란형, 봄·가을 산란형 등의 유형을 보이고 있다 (Aida, 1991). 동사리의 경우 봄에 수온이 상승하며, 낮의 길이가 길어지고 있는 시기인 4월부터 산란을 시작하여 6월에 종료하는 것으로 보아서 봄 산란형으로 생각된다. 이러한 봄 산란형의 산란개시는 봄에 온도 상승과 더불어 시작되어 여름철 고수온에 의해 종료되는 것으로 알려져 있는데 (Aida, 1991), 동사리의 완숙 및 산란기 동안인 4월부터 6월까지의 수온은 11.0°C 에서 23.0°C 로 증가하였으며, 낮의 길이도 13.7hL에서 14.6hL로 길어지는 시기였다.

동사리 난소 및 GSI의 변화를 보면, 산란 완료 후 7월, 8월의 고수온기에는 염색인자와 주변인기 난모세포들이 주로 나타나며 GSI는 연중 가장 낮았다. 수온이 낮아지기 시작하는 9월부터 12월까지는 난황포기 난모세포 및 일부의 난황형성기 난모세포의 증가와 더불어 GSI는 완만하게 상승하였고, 수온이 최저인 1월부터 3월까지의 난황형성기 난모세포가 증가하였으나, GSI는 2월부터 급격히 증가하였다. 이렇게 GSI의 증가가 두 단계로 나누어지는 경우는 *Gnathopogon elongatus caeruleus* (Okuzawa et al., 1986), 다비라납지리, *Acheilognathus tabira* (Shimizu and Hanyu, 1981) 및 각시붕어 (An, 1995a) 등에서도 보고되었으며, GSI가 난황포 축적에 의해 완만히 증가되고, 난황구 축적에 의해 급격히 증가되는 것으로 밝혀졌다. 또 이 두 단계사이에서 나타나는 난소의 변화가 일어나지 않고, GSI가 증가하지 않는 시기는 정체기로 구분되었다. 그러나 동사리는 GSI의 변화가 나타나지 않는 12월과 1월에도 난소에서는 난황형성기의 난모세포가 증가하는 변화가 일어나므로 이 시기를 정체기로 구분할 수 없었으며, GSI가 증가하지 않은 이유도 생식소 때문이 아닌 다른 원인 때문일 것으로 생각된다. 즉 저수온기의 동체를 지내기 위한 에너지의 축적 등으로 생식소를 제외한 체중의 증가로 인해 상대적으로 난소 중량이 차지하는 비율이 낮아져 일시적으로 GSI가 감소 또는 현상유지 되는 경우도 있을 수 있다. 그러나 정확한 원인을 밝히기 위해서는 사육 실험 등을 통한 세밀한 연구가 이루어져야 할 것이다. 4월부터 6월까지의 성숙기 난모세포가 출현하였으며 GSI는 감소하였다. 한편, 완숙 및 산란기의 수온과 비슷하지만, 낮의 길이가

짧아지는 가을에는 난소의 재성숙이 일어나지 않았는데, 다비라납지리(Shimizu and Hanyu, 1982; 1991) 및 각시붕어(An, 1995b) 등에서는 이 시기에 광주성이 나타나 단일 광주기의 영향을 받는 것으로 밝혀졌으며, 장일조건으로 가을에 재성숙을 유도할 수 있었다고 한다. 따라서 동사리도 수온 및 광주기 조건의 조절을 통해 생식주기의 인위적 조절이 가능할 것으로 생각되나, 이를 위해서는 산란개시 및 종료시의 임계온도와 난소의 재성숙을 유도할 수 있는 광주기조건의 구멍이 선결되어야 할 것으로 생각된다.

어류의 난모세포 발달 양식은 동시발달형, 난군동시발달형, 비동시발달형으로 구분되며, 비동시발달형은 산란기동안 여러번 산란을 하는 것으로 알려져 있는데(Wallace and Selman, 1981; de Vlaming, 1983), 동사리의 경우 성숙기의 난소에서도 염색인기, 주변인기, 난황포기, 난황형성기의 난모세포가 같이 나타나며, 완숙 및 산란기에는 난핵포가 이동하는 성숙기의 난모세포도 이들과 함께 존재하는 것으로 보아서(Fig. 2e), 쟁뚱어, *Boleophthalmus pectinirostris* (Chung et al., 1991)와 동자개(Lim and Han, 1997)처럼 비동시발달형인 것으로 생각된다. 따라서 산란기 동안 여러번 산란을 할 수 있는 것으로 추정되나, 정확한 횟수는 알 수 없었다.

경골어류의 난형성은 수온 및 광주기 등 환경요인의 변화가 뇌에서 종합되어 시상하부-뇌하수체-생식소를 축으로한 내분비계의 호르몬 분비를 촉진 또는 억제함으로써 조절되는 것으로 알려져 있다(Peter et al., 1991). 즉, 시상하부에서 환경정보 및 내적 요인의 종합은 생식소 자극호르몬방출호르몬(gonadotropin-releasing hormone, GnRH)의 합성 및 분비를 조절한다. 이 GnRH 자극으로 뇌하수체에서 GtH가 분비되어, 난소내 난모세포를 둘러싸고 있는 여포세포의 자극을 통해 생성되는 성스테로이드 호르몬에 의해 난형성 과정이 조절된다. 이때 난소여포의 과립막세포에서 생성되는 E₂에 의해 간에서 난황전구체가 합성되어 난모세포에 축적됨으로써 난모세포는 성장하게 되며, C-21계 스테로이드인 성숙유도호르몬(maturation-inducing hormone)에 의해 최종 성숙되는 것으로 알려져 있는데(Nagahama, 1987b; Yoshikuni and Nagahama, 1991), 본 종의 혈중 E₂ 농도는 난소내 난황형성기의 난모세포의 출현 빈도가 가장 높았던 3월에 가장 높게 나타났으며, 또 낮은 농도를 유지해오던 C-21계 스테로이드인 17 α -OHP도 성숙기 난모세포가 나타나기 직전인 3월에 급격히 증가한 후 감소하였다. 또한 4월이 되면서 E₂와 17 α -OHP의 혈중 농도는 낮아지고, C-21계 성스테로이드 호르몬인 17 α ,20 β -P가 급격히 증

가하는 것으로 보아 동사리는 *Catostomus commersoni* (Scott et al., 1984), *Oncorhynchus rhodurus* (Nagahama and Adachi, 1985) 및 정어리, *Sardinops melanostictus* (Matsuyama et al., 1991) 등의 어류에서 보여지는 것처럼 난모세포의 성장에는 E₂가 관여하며, 최종 성숙에는 17 α , 20 β -P가 관여하는 것으로 생각되어진다. 또 같은 C-21계 성스테로이드 호르몬인 17 α -OHP의 농도는 산란기 전에 상승하여, 17 α ,20 β -P가 증가하면서 낮아지는 것으로 보아 17 α -OHP는 직접 난모세포의 성숙을 유도하기보다는 송사리, *Oryzias latipes* (Kobayashi et al., 1996)와 연어과 어류(Young et al., 1986; Nagahama, 1987a)에서처럼, 난모세포 성숙유도 호르몬의 전구체로 작용하는 것으로 생각된다. 이러한 성스테로이드 호르몬의 분비양상 및 역할의 구명은 혈중 농도 조사를 통해 난소내 난모세포들의 성숙도 판단을 가능케 할 것으로 생각된다.

요 약

동사리, *Odontobutis platycephala* 암컷의 생식주기를 밝히고자 1995년 12월부터 1997년 11월까지 생식소 중량지수(gonadosomatic index, GSI), 난소의 난소여포 발달 및 혈중 성스테로이드 호르몬 변화 양상을 조사하였다. GSI는 7월과 8월에 0.35~0.72였으며, 난소내 대부분의 난모세포들은 염색인기와 주변인기 단계였다(출현 빈도: 87%~96%). 9월의 GSI는 1.20 \pm 0.12였으며, 일부의 난황포기의 난모세포들과 난황형성기의 난모세포도 출현하였으나 극히 일부에 지나지 않았다(각각의 출현 빈도: 22.8%, 2.2%). 10월부터 GSI는 완만하게 증가하여 12월 4.59 \pm 0.61에 달하였으며 난황형성기 난모세포들이 약간 증가하였다(12월의 출현 빈도: 22.1%). 1월에는 GSI의 큰 변화는 없었으나 난황형성기 난모세포들은 12월보다 더 증가하였다(출현 빈도: 51.2%). 2월부터 GSI는 급격히 증가하여 3월에 10.51 \pm 1.04로 연중 가장 높았으며, 난소의 난황형성기 난모세포들도 연중 최고 수준에 이르렀다(3월의 출현 빈도: 60%). 4월부터 GSI는 감소하여 6월에는 1.11 \pm 0.35였으며 성숙기의 난모세포를 가진 난소여포들과 배란 후 퇴화되는 난소여포들이 나타났고, 이들의 출현 빈도는 4월에 가장 높았다(성숙기 난모세포 출현 빈도: 4월 40%, 5월 12%, 6월 5%). Estradiol-17 β (E₂)의 혈중 농도는 8월에 0.84 \pm 0.20 ng/ml로 12월까지 비슷한 수준에 머물렀으나 1월부터는 증가하여 3월에 2.85 \pm 0.35 ng/ml로 연중 가장 높았으며, 4월부터는 감소

하여 7월에 0.14 ± 0.02 ng/ml로 가장 낮았다($P < 0.05$). 17 α -hydroxyprogesterone (17 α -OHP)의 혈중 농도는 3월에 13.37 ± 0.52 ng/ml로 높았을뿐 다른 시기동안은 3 ng/ml 이하로 유의한 변화를 보이지는 않았다($P < 0.05$). 17 $\alpha,20$ β -dihydroxy-4-pregnen-3-one (17 $\alpha,20$ β -P)의 혈중 농도는 4월에 0.74 ± 0.09 ng/ml로 최고 수준이었고 5월까지는 0.54 ± 0.07 ng/ml로 높은 농도를 유지했지만 그 외의 시기에는 0.26 ng/ml 이하로 연중 유의한 변화는 없었다($P < 0.05$). 이러한 결과를 종합하면, 동사리의 완숙 및 산란기는 4월~6월로서 주산란기는 4월과 5월 사이이며, 7월~8월은 휴지기, 9월~12월은 성장기, 1월~3월은 성숙기로 구분되는 생식주기를 보였으며, 이러한 변화는 성스테로이드 호르몬의 변화양상과 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Ahn, R.S., S.K. Ko, D.G. Bai, Y.D. Yoon and H.B. Kwon. 1991. Steroidogenic shift by cultured ovarian follicles of *Rana dybowskii* at breeding season J. Exp. Zool., 267, 27 5~282
- An, C.M. 1995a. Reproductive cycle of the spring-spawning bitterling, *Rhodeus uyekii* (Pisces: Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 7, 33~42 (in Korean).
- An, C.M. 1995b. Effects of photoperiod and water temperature on the reproductive cycle of the spring-spawning bitterling, *Rhodeus uyekii* (Pisces: Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 7, 43~55 (in Korean).
- Aida, K. 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleostei. Bull. Inst. Zool., Academia Sinica, Monograph., 16, 173~187.
- Chung, E.Y., C.M. An and T.Y. Lee. 1991. Sexual maturation of the bluespotted mud hopper, *Boleophthalmus pectinirostris* (Linnaeus). Bull. Korean Fish. Soc., 24, 167~176 (in Korean).
- Chung, M.K. 1977. The fishes of Korea. Iljisa Pub. Co. Seoul, 727pp. (in Korean).
- de Vlaming, V. 1983. Oocyte development patterns and hormonal involvement among teleosts. "Control Processes in Fish Physiology" (eds. J.C. Rankin, T.J. Pitcher and R. Duggan). Croom Helm, London, 176~199.
- Hanyu, I. and H. Razani. 1986. Annual reproductive cycle of 2~3 years old female goldfish and its artificial modification by manipulations of water temperature and photoperiod. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 52, 965~969.
- Hirose, K., S. Adachi and Y. Nagahama. 1985. Changes in plasma steroid hormone levels during sexual maturation in the ayu, *Plecoglossus altivelis*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 51, 399~403.
- Iwata, A., S.R. Jeon, N. Miguro and K.C. Choi. 1988. Embryonic development of a gobiid fish, *Odontobutis platycephala*. Korean J. Limnol., 21, 25~32 (in Korean).
- Iwata, A., S.R. Jeon, N. Mizuno and K.C. Choi. 1987. Embryonic development of a gobiid fish, *Odontobutis obscurus interrupta*. Science Report of the Yokosuka city museum., 35, 29~36 (in Japanese).
- Kagawa, H., G. Young and Y. Nagahama. 1982. Estradiol-17 β production in amago salmon (*Oncorhynchus rhodurus*) ovarian follicles: role of the thecal and granulosa cells. Gen. Com. Endocrinol., 47, 440~448.
- Kagawa, H., H. Tanaka, H. Ohta, K. Okuzawa and N. Inuma. 1997. Induction ovulation by injection of 17,20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one in the artificially maturated Japanese eel, with special reference to ovulation time. Fisheries Science, 63, 365~367.
- Kaneko, T. and I. Hanyu. 1985. Annual reproductive cycle of the chichibu-goby, *Tridentiger obscurus*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 51, 1645~1650.
- Kim, I.S., Y.J. Lee and Y.U. Kim. 1986. Synopsis of the family Gobiidae (Pisces, Perciformes) from Korea. Bull. Korean Fish. Soc., 19, 387~408 (in Korean).
- Kim, G.W. 1997. Annual reproductive cycle of the Korean perch, *Coreoperca herzi*. MS Thesis, Yosu Natl. Fish. Univ., Korea, 36pp. 3pls. (in Korean).
- Kobayashi, D., M. Tanaka, S. Fukada and Y. Nagahama. 1996. Steroidogenesis in the ovarian follicles of the medaka (*Oryzias latipes*) during vitellogenesis and oocyte maturation. Zoo. Sci., 13, 921~927.
- Kwon, H.B., H.H. Choi, R.S. Ahn and Y.D. Yoon. 1991. Steroid production by amphibian (*Rana nigromaculata*) ovarian follicles at different developmental stages. J. Exp. Zool., 206, 66~73.
- Lam, T.J. 1983. Environmental influences on gonadal activity in fish. In: Hoar, W.S., Randall, D.J. Donaldson, E.M. (eds) Fish Physiology, Vol. IXB, Academic Press. New York, 65~116.
- Lee, T.Y. and S.Y. Kim. 1987. Experimental studies on the mechanism of reproductive cycle in the bluegill, *Lepomis macrochirus*. Bull. Korean Fish. Soc. 20, 489~500 (in Korean).
- Lim, S.K. and C.H. Han. 1997. Annual reproductive cycle of the banded catfish, *Pseudobagrus fulvidraco* (Richardson). J. Korean Fish. Soc. 30, 823~833 (in Korean).
- Mackenzie, K., P. Thomas and S.M. Farrar. 1989. Seasonal changes in thyroid and reproductive steroid hormones in female channel catfish (*Ictalurus punctatus*) in pond culture. Aquaculture, 78, 63~80.
- Matsuyama, M., S. Adachi, Y. Nagahama, C. Kitajima, and S. Matsuura. 1991. Annual reproductive cycle of the captive female Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*.

- relationship to ovarian development and serum levels of gonadal steroid hormones. *Mar. Biol.*, 108, 21~29.
- Nagahama, Y. 1987a. 17 α ,20 β -Dihydroxy-4-pregnen-3-one: A teleost maturation-inducing hormone. *Develop. Growth Differ.*, 29, 1~12.
- Nagahama, Y. 1987b. Gonadotropin action on gametogenesis and steroidogenesis on teleost gonads. *Zool. Sci.*, 4, 209~222.
- Nagahama, Y. and S. Adachi. 1985. Identification of maturation-inducing steroid in a teleost, the amago salmon (*Oncorhynchus rhodurus*). *Devl. Biol.*, 109, 428~435.
- Okuzawa, K., K. Furukawa, K. Aida and I. Hanyu. 1986. Annual reproductive cycle of the honmoroko, *Gnathopogon elongatus caeruleus*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 52, 1957~1960 (in Japanese).
- Ouchi, K., S. Adachi and Y. Nagahama. 1988a. Changes in plasma levels of steroid hormones during sexual maturation of female red seabream, *Pagrus major*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 54, 585~591 (in Japanese).
- Ouchi, K., S. Adachi and Y. Nagahama. 1988b. Changes in plasma levels of steroid hormones during sexual maturation of male red seabream, *Pagrus major*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 54, 593~597 (in Japanese).
- Peter, R.E., V.L. Trudeau and B.D. Sloley. 1991. Brain regulation of reproduction in teleost. *Bull. Inst. Zool., Academia Sinca, Monograph.*, 16, 89~118.
- Razani, H., I. Hanyu, and K. Aida. 1988. Environmental influences on ovarian activity and related hormones in yearling goldfish. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 54, 1505~1511.
- Richter, C.J., E.H. Eding, H.J.T. Goos, R.D. Leeuw and A.P. Scott. 1987. The effect of pimizide/LHRH analog and 17 α -hydroxyprogesterone on plasma steroid levels and ovulation in the African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture*, 63, 157~168.
- 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.
- Shimizu, A. and I. Hanyu. 1981. Annual reproductive cycle of a spring-spawning bitterling, *Acheilognathus tabira*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 47, 333~339. (in Japanese).
- Shimizu, A. and I. Hanyu. 1982. Environmental regulation of annual reproductive cycle in a spring-spawning bitterling, *Acheilognathus tabira*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 48, 1563~1568.
- Shimizu, A. and I. Hanyu. 1991. Changes in photoperiodism involved in the gonadal development of a spring-spawning bitterling, *Acheilognathus tabira*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 177
- Shimizu, A., K. Aida and I. Hanyu. 1994. Effects of photo-period and temperature on gonadal activity and plasma steroid levels in an autumn-spawning bitterling, *Acheilognathus rhombea*, during different phase of its annual reproductive cycle. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 93, 137~150.
- Tamaru, C.S., C.D. Kelly, C.S. Lee, K. Aida, I. Hanyu and F. Goetz. 1991. Steroid profiles during maturation and induced spawning of the striped mullet, *Mugil cephalus* L. *Aquaculture*, 95, 149~168
- The Korean Society of Systematic Zoology. 1997. List of Animals in Korea. *Academi Pub. Co. Seoul*, 489pp. (in Korean).
- Thomas, P. 1994. Hormonal control of final oocyte maturation in sciaenid fishes. *Perspectives in Comparative Endocrinology*, 619~625.
- Trant, J.M. and P. Thomas and C.H.L. Shackleton. 1986. Identification of 17 α ,20 β ,21-trihydroxy-4-pregnen-3-one as the major ovarian steroid produced by the teleost *Micropogonias undulatus* during final oocyte maturation. *Steroids.*, 47, 89~99.
- Trant, J.M. and P. Thomas. 1989. Isolation of a novel maturation-inducing steroid produced *in vitro* by ovaries of Atlantic croker. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 75, 405~412.
- 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.
- Young, G., S. Adachi and Y. Nagahama. 1986. Role ovarian thecal and granulosa layers in gonadotropin-induced synthesis of a salmonid maturation-inducing substance (17 α ,20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one). *Dev. Biol.*, 118, 1~8.
- Yoshikuni, M. and Y. Nagahama. 1991. Endocrinology Regulation of Gametogenesis in fish. *Bull. Inst. Zool., Academia Sinca, Monograph.*, 16, 139~172.
- Zhu, Y., K. Furukawa, K. Aida and I. Hanyu. 1989. Annual reproductive rhythm of the tobnumeri-dragonet, *Repromucens beniteguri* (Callionymidae) in lake Hamana. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55, 591~599.
- 김익수 · 강연중. 1993. 원색한국어도보. 아카데미서적. 372~375.
- 羽生功. 1991. 生殖周期. 「魚類生理學」(板澤靖男 · 羽生功編). 恒星社厚生閣, 287~325.

1998년 4월 23일 접수

1998년 7월 13일 수리