

박사학위논문

감성돔, *Acanthopagrus schlegeli*의  
성전환과 생식주기 조절



제주대학교 대학원  
제주대학교 중앙도서관  
수산생물학과 JEJU UNIVERSITY LIBRARY


황 성 일

1999년 12월

Artificial Control in Sex and Reproductive Cycle  
of Black Seabream, *Acanthopagrus schlegeli*

Sung-II Hwang

(Supervised by professor Sum Rho)

 제주대학교 중앙도서관  
A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
DOCTOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MARINE BIOLOGY  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1999. 12.

# 감성돔, *Acanthopagrus schlegeli*의 성전환과 생식주기 조절

지도교수 노 섬

황 성 일

이 논문을 이학박사 학위논문으로 제출함

1999년 12월

황성일의 이학박사 학위논문을 인준함



제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

심사위원장 장 영 진



위 원 이 정 재



위 원 이 영 돈



위 원 송 춘 부



위 원 노 섬



제주대학교 대학원

1999년 12월

# 목 차

ABSTRACT .....	iv
I. 서 론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	6
1. 실험재료 .....	6
2. 실험방법 .....	8
1) 성현상과 성전환 .....	8
2) 호르몬 처리에 의한 성전환 .....	9
3) 생식주기 .....	12
4) 수온과 광주기에 의한 생식주기 조절 .....	12
III. 결 과 .....	20
1. 성현상과 성전환 .....	20
1) 생식소 발달 .....	20
2) 성비 .....	24
3) 자웅동체 현상 .....	29
2. 호르몬 처리에 의한 성전환 .....	29
1) 호르몬 처리구의 생체지수 .....	29
2) 성스테로이드호르몬 농도의 변화 .....	36
3) 생식소 발달 .....	41
4) 난·정소역의 조성비 변화 .....	48



5) 성비 .....	54
<b>3. 생식주기 .....</b>	<b>58</b>
1) 생식소의 형태와 구조 .....	58
2) 생체지수의 월변화 .....	58
3) 생식세포 형성 .....	61
(1) 난형성 .....	61
(2) 정자형성 .....	64
4) 난소내 난경 조성 .....	65
5) 생식주기 .....	65
<b>4. 수은과 광주기에 의한 생식주기 조절 .....</b>	<b>67</b>
1) 생체지수의 월변화 .....	67
2) 생식세포 형성 .....	73
(1) 난형성 .....	73
(2) 정자형성 .....	73
3) 간 조직상 .....	76
4) 성스테로이드호르몬 농도의 변화 .....	76
(1) Testosterone (T) .....	76
(2) Estradiol-17 $\beta$ (E <sub>2</sub> ) .....	80
5) 산란시기 및 양의 변화 .....	80
6) 발생 .....	87
<b>IV. 고 찰 .....</b>	<b>91</b>
1. 성현상과 성전환 .....	91
2. 호르몬 처리에 의한 성전환 .....	94
3. 생식주기 .....	97

4. 수온과 광주기에 의한 생식주기 조절 .....	99
VI. 요약 .....	102
참고문헌 .....	106
감사의 글 .....	119



# ABSTRACT

To know the possibility of artificial control in sex and reproductive cycle of the black seabream, *Acanthopagrus schlegeli*, the effects of water temperature and photoperiod on the gonadal development and plasma level of sex steroid have been investigated with the first- (6 to 17 months old), second- (18 to 29 months old), and third-year (30 to 41 months old) classes of the black seabream. In addition, sex reversal has been attempted by oral administration of estradiol-17 $\beta$  (E<sub>2</sub>) and then plasma level of sex steroid were examined.

## Sex phenomenon and sex reversal

The lowest GSI (gonadosomatic index) values for all three year classes were recorded in November, and then a peak was reached in May, whereas highest values of both hepatosomatic index (HSI) and condition factor (CF) occurred in November and low values of both were maintained from May to October.

The proportions of ovarian area in the gonads of the first-, second-, and third-year class of the black seabream were 0.1, 12.2, 27.4% in November and 2.3, 3.6, 39.6% in May when the highest GSI were detected, and relatively high values (38.4, 32.1, and 45.3%) were maintained from October when the low GSI were detected.

Plasma E<sub>2</sub> levels in the gonads of the first-, second-, and third-year class of the black seabream were 10, 10, 100 pg/ml in both November and May, and 80, 10, 100 pg/ml from September to October. Plasma T levels in the first-, second-, and third-year class of black seabream were 15, 100, 201 pg/ml in November, 15, 300, 200 pg/ml in May, and 115, 100, 10 pg/ml from September to October.

From the histological features, the chronological order of sex reversal in black

seabream was young hermaphroditic gonad, young male gonad, hermaphrodite, adult male gonad, hermaphrodite, and adult female gonad. Hermaphroditic gonads were observed in 10~17 cm TL (total length) from the first-year, in 18~22 cm TL from second-year, in 20~35 cm TL from third-year class of black seabream.

### Sex reversal by hormone treatment

To know the effect of hormone treatment on sex reversal, the black seabream were treated by oral administration of E<sub>2</sub> in dose of 2 ppm/kg diet density to the first-, second-, and third-year classes of the black seabream from November, 1998 to October, 1999.

The lowest GSI values for all three year classes were recorded in November, and then peaks in both second- and third-year class were reached in May, but GSI value for the first-year class was significantly low ( $p < 0.05$ ) in May and then increased from September to October.

The highest values of both HSI and condition factor CF occurred in November and relatively low values of both were maintained from May to September.

The proportions of ovarian area in the gonad of the first-, second-, and third-year class of black seabream were 0.1, 12.2, 27.4% in November and 2.5, 3.6, 53.4% in May when the highest GSI were detected, and relatively high values (91.4, 84.9, and 80.8%) were maintained from October when the low GSI were detected.

Plasma E<sub>2</sub> levels in the gonads of the first-, second-, and third-year class of black seabream were 10, 10, 100 pg/ml in November, and 10, 10, 1,115 pg/ml in May, and 430, 10, 950 pg/ml from September to October. Plasma T levels in the first-, second-, and third-year class of black seabream were 10, 100, 200 pg/ml in November, 5, 200, 100 pg/ml in May, and 40, 200, 10 pg/ml from

September to October.

### **Reproductive cycle**

The reproductive cycle of black seabream could be divided into the following successive stages: growing stage (February~March), mature stage (March~April), ripe and spawning stage (May~June), degenerative and resting stage (July~January).

In growing stage, the GSI value increased and  $E_2$  and T levels in plasma also increased to 1,000~1,400 pg/ml and 700 pg/ml, respectively. Oocytes of the perinucleous stage were observed in ovarian area, whereas spermatocyte and spermatid in testicular area were actively differentiated.

In mature stage (March~April), the GSI value increased rapidly and T level also elevated to 1,000 pg/ml, whereas  $E_2$  levels decreased rapidly to 100 pg/ml. Ovarian tissues of various developing stages were observed in ovarian area, and spermatids and spermatozoa in testicular area formed cysts.

In ripe and spawning stage (May~June), GSI values were high in May and low in June. Both  $E_2$  and T levels remained stable at 100 pg/ml. Mature oocytes were filled in the female gonad and spermatozoa occupied with in vas deferens of male.

In regressing and resting stage (July~January), GSI values were maintained low. Primary oocyte mainly occupied in ovarian area, and testicular area was still filled with spermatocytes and spermatids.

### **The control of reproductive cycle by water temperature and photoperiod.**

To know the effects of water temperature and photoperiod on the reproductive cycle of black seabream, 240 fish were reared in 4 culture tanks by controlling water temperature and photoperiod, and monthly changes of GSI,

HSI, CF, and  $E_2$  and T level were monitored during the experimental period. The results were as follows:

GSI values obtained from the experiment I, II, III, and the control were 0.39 in all in September and then those from experiment I, III, and the control, were at 12.6, 9.8, 12.1 respectively in May. GSI values from the experiment II, however, reached a maximum value of 12.01 in April and then decreased to 0.3~0.5 till August.

HSI values reached the maximum values of 3.24 (experiment III) and 2.81 (the control) in November, 3.31 (experiment I) and 3.48 (experiment II) in December, and then decreased to 1.0~1.5 (all experimental groups) in August. As the highest HSI values observed from all experimental groups were revealed 5~6 months earlier than highest GSI values, HSI and GSI seemed to have a counter relationship.

CF values reached the maximum values of 19.28, 20.73, 19.15 (experiment II, III, and the control) in November, 19.18 (experiment I), and then decreased to 17~18 (all experimental groups) in August.

From the experiment II in which water temperature and photoperiod were simultaneously controlled, the first spawning started at 192th day (April 6, 1999) after the beginning of experiment, and it was 37 days earlier than from the control. The conditions induced spawning were 14/10 (L/D) of photoperiod and 16.2°C of water temperature, and the ratio of female to male among 46 mature fish was 1 to 1.6.

Among total 2,625,000 eggs, the number of floating eggs was 2,124,000 and floating, fertilization, and hatching rate were  $80.9 \pm 22.5$ ,  $90.1 \pm 0.3$ ,  $74.3 \pm 12.3\%$ , respectively. Mean egg diameter and oil droplet diameter was  $0.84 \pm 0.02$  mm,  $0.21 \pm 0.01$  mm respectively and the eggs became smaller while the spawning was in process and then got bigger in the late spawning season.

# I. 서 론

감성돔, *Acanthopagrus schlegeli*은 도미과에 속하는 연안성 어류로서 우리나라 서·남해, 일본 홋카이도 이남, 황해, 동중국해에 분포하고, 수심 50 m 이내인 바닥에 해조류가 있는 모래질이나 암초지대에 주로 서식하며, 큰 이동이 없다. 이 종은 응성선숙어로 4~5년생부터 암·수로 분리되며 5~6월에 산란하는 어종이다 (Chyung, 1990).

감성돔은 낚시 동호인들에게 최고로 인기가 있을 뿐만 아니라 맛이 좋아 횃감, 구이 등 기호식품으로 각광을 받고 있으며, 명절 제수용품으로 널리 이용되고 있다. 그러나, 자원은 점점 고갈되고 있는 실정으로 양식 대상 품종으로 오래 전부터 주목받고 있었다. 감성돔은 그간 대량 종묘생산이 이루어지지 않아 완전 양식은 가능하지 않았고 남해안의 가두리를 중심으로 양식이 되고 있었다.

감성돔은 그동안 꾸준하게 종묘생산 기술개발이 시도되어 1990년대 후반부터 남해안과 서해안에서 대량종묘생산이 이루어지고 있으나, 감성돔의 양식은 겨울철 저수온기간에 월동의 어려움이 남아있는 실정이다.

우리나라에서 감성돔에 대한 연구는 감성돔 종묘생산에 관한 연구(Lee and Rho, 1987), 폐쇄순환여과장치에 의한 감성돔 양식에 관한 연구(Lee and Rho, 1988, Lee et al., 1988), 감성돔의 성분화에 관한 연구(Lee et al., 1994) 등을 찾아 볼 수 있다. 양식산업의 발전과 함께 효율적인 양식 경영을 위하여 종묘의 시기를 자연 산란기보다 앞당길 필요성이 인식되면서 어류의 성성숙제어를 위한 연구가 많은 연구자에 의하여 추진되어 왔다. 그중 수온과 광주기 조절로 어류의 생식주기를 조절하기 위한 연구는 참돔, *Pagrus major* (Kim and Kim, 1990), 넙치, *Paralichthys olivaceus* (Kim and Hur, 1991), 돌돔, *Oplegnathus fasciatus* (Jeong et al., 1998) 등이 있으며, 난태생종으로는 볼락, *Sebastes inermis* (Ko et al., 1998)에 관한 연구가 있다. 성성숙에 따른 호르몬의 활성 변화에 대한 연구는 범

가자미, *Verasper variegatus* (Kim, 1996), 조피볼락, *Sebastes schlegeli* (Baik, 1993; Kang et al., 1998)에서 찾아 볼 수 있으나, 자웅동체 어종인 감성돔에 대한 생식주기 조절과, 성전환유도, 생식주기에 따른 성스테로이드호르몬의 활성화에 관한 연구는 미미한 실정이다.

어류의 성은 자·웅 속성으로 놓고 보면 생리적 속성과 유전적 속성으로 나누어 각각 생리적 성(physiological sex)과 유전적 성(genetic sex)으로 구분할 수 있다. 생리적 성은 발생과정의 특정시기에 분비되는 성스테로이드호르몬의 작용을 받아 생화학적 과정을 거쳐서 생기고, 형태학적 성 차이로 구별되는 자웅의 속성이다. 그리고, 유전적 성은 염색체 조합에 의해 수정시 결정되는 자웅의 속성이다. 이 두개의 성은 어느 종의 개체에도 기본적으로 존재하는 성으로써, 그 전환은 자웅이체 어종은 유전적 성과 생리적 성이 일치하지 않은 경우를 말하고, 자웅동체 어종은 유전적 성은 동일하나 생리적 성만이 변하는 경우를 말한다.

경골어류의 성분화를 기초로 하여 생식소의 성분화 과정중에 외인성 성스테로이드호르몬의 투여로 자웅이체 어류의 인위적인 성전환을 유도할 수 있으며, 호르몬에 의한 성전환시 호르몬에 대한 대상종의 민감성, 호르몬의 농도, 처리방법, 최초처리시간 및 처리지속기간 등이 중요시되고 있다(Yamamoto, 1969, Hunter and Donaldson, 1983; Pandian and Sheela, 1995).

감성돔의 성분화 시기는 부화 후 250일 전후의 전장 9.5 cm 개체에서 원시생식소를 이루는 생식상피가 발달하면서 생식소내에 섬유질이 풍부한 간충직 체세포와 생식원세포 그리고 정모세포군과 정세포군이 나타나고 있다(Lee et al., 1994). 따라서, 이 시기에 호르몬을 처리하여 성전환을 유도하는 방법이 많이 이용되고 있다.

성전환 연구는 산호초에 서식하는 놀래기류의 성전환과 산란 행동에 관한 연구(Robertson and Coat, 1974)와 국내에서 자성선속종의 놀래기류(Lee et al., 1992), 능성어, *Epinephelus septemfasciatus* (Lee et al., 1996), 붉바리, *Epinephelus akaara* (Hwang et al., 1998) 등이 있으나 웅성선속종의 성전환에 관한 연구는



찾아보기 힘들다.

Yamamoto (1953)가 송사리, *Oryzias latipes*를 대상으로 성전환에 관한 일련의 연구결과를 발표한 이후 어류를 대상으로 한 성전환 연구보고가 많이 이루어지고 있고 (Clemens and Inslee, 1968; Jalabert et al., 1974, Yamazaki, 1976; Goetz et al., 1979; Donaldson and Hunter, 1982; Tanaka, 1988), 현재 어류의 성제어 기술은 연어, 송어, 넙치 등에서 산업적 응용이 가능한 단계에 이르고 있다.

자웅이체어의 성제어는 개체발생의 과정에서 생식소의 자웅분화가 일어나는 시기에 유효한 성스테로이드호르몬을 적정량, 일정기간 처리하는 것에 따라 가능해지고 있으나 자웅동체어의 성제어에 관한 연구는 아직 미미한 실정이다.

현재, 성전환 유도방법은 호르몬을 지용성 캡슐로 제작하여 어체의 근육에 투여하는 방법(implantation method)과 호르몬을 사료에 섞어서 경구투여하는 방법(feeding method) 및 사육수에 호르몬을 희석하여 처리하는 방법(immersion method) 등이 있다.

Yamamoto (1969)는 송사리를 이용해 수컷에서 암컷으로 성전환에 필요한 자성호르몬의 유효농도를 자성호르몬의 종류마다  $GD_{50}$  (성스테로이드호르몬 처리시 50%가 암컷으로 성전환하는 먹이 1 g중의 호르몬 농도)을 정해 비교하고 있다. 연어, 송어류에서는 주로 estradiol-17 $\beta$  ( $E_2$ )가 사용되고 있다. 수컷으로 전환하는 경우 웅성호르몬 투여는 섭이 개시 후에도 효과가 있는 어종이 많지만, 자성화의 경우에는 섭이개시 후에 자성호르몬을 처리하여도 효과가 없는 경우가 많아 부화 후부터 난황 흡수기에 침적처리를 하고 그 후에도 비교적 높은 농도로 호르몬을 경구 투여할 필요가 있다. 이 사실은 수컷과 암컷의 성분화에 질적 및 시기적인 차가 있는 것을 암시하고 있다. 웅성화의 경우 호르몬 처리의 시기가 늦어도 성전환하는 개체가 나타나지만 유전적 수컷을 암컷으로 하는 경우 자성호르몬의 사용시기를 빠르게 하지 않으면 안된다.

어류의 성숙, 배란 그리고 산란은 생식내분비계 지배에 의하여 조절되지만, 이들의 성숙조절을 유도하는 것은 주로 환경요인에 의존적이며, 이중에서도 수온과

광주기에 의한 영향이 크다고 알려져 있다(de Vlaming, 1972a, b, 1975; Asahina and Hanyu, 1984). 그러나, 생식소의 활성을 유도하는 온도와 광주기 조건이 복합적으로 작용하고 있으며, 종에 따라 그 범위가 각기 다르게 나타나고 있다(Hunter and donaldson, 1983; Kim and Hur, 1991). 감성돔에서도 성성숙에 관여하는 수온과 광주기의 조건이 특이하게 나타날 수 있으며 감성돔의 인위적인 성성숙 조건을 밝히는 기초자료로 활용할 수 있다

생식주기와 성호르몬의 계절변화에 관한 연구는 연어류(Scott et al., 1980), 붕어, *Carassius auratus* (Kobayashi et al., 1986), white sucker (Scott et al., 1984), 메기, *Heteropneustes fossilis* (Lamba et al., 1983)등 많은 담수어와 가자미류의 일종, *Pleuronectes platessa* (Wingfield and Grimm, 1977), 전갱이류의 일종, *Pomatomus saltator*, 고등어류의 일종, *Scomberomorus cavalla* (MacGregor et al., 1981), 송어, *Mugil cephalus* (Dindo and MacGregor, 1981)를 포함한 해산어류에서 성숙기간동안 성스테로이드호르몬의 변화를 보고하였다. 그러나, 생식주기를 토대로 한 자동동제어에 대한 성스테로이드호르몬의 활성 비교는 있으나 매우 드문 실정이다. Yeung and Chan (1987a, b)은 음성선속종과 자성선속종에 대해 생식주기를 통한 각각 다른 성적단계에서의 androstenedione, testosterone (T), E<sub>2</sub>의 변화를 보고하였다.

최근 감성돔의 양식이 산업화됨으로써 수정란의 수요가 늘어나고 있으며, 종묘의 양산을 안정적으로 수행하기 위해서는 양질의 수정란을 계획적으로 생산할 수 있는 성숙, 산란제어 기술확립이 중요하다. 그러나, 우리나라 각 해역의 수온 조건과 같이 성장 적수온 기간이 짧은 환경 조건에서 감성돔의 자연 산란기(5~6월)에 수정란을 확보하는 경우 치어의 첫해 월동시 높은 폐사율이 문제시되고 있다. 수온과 광주기 등 외부환경제어에 의한 산란시기 조절로 조기에 수정란을 확보할 수 있다면 생산된 조기종묘를 자연수온이 성장 가능한 조건에 도달할 때 해상 가두리로 옮겨 사육하면 성육기간을 연장시킬 수 있을 뿐 아니라 성장과 생존율을 향상시킬 수 있다.

이 연구는 음성선속종인 감성돔의 조기종묘생산기술개발을 위하여 1차적으로 자연상태에서 성현상과 성전환을 구명하고, 2차적으로 양성생식소를 가진 연령별 (6~17개월령, 18~29개월령, 30~41개월령) 실험어를 대상으로 E<sub>2</sub>를 처리하여 압컷으로 성전환 유도를 실시하였다. 3차에서는 자연에서의 생체지수의 월변화, 생식세포의 형성과정, 난소내 난경조성, 생식주기를 파악하였고, 4차에서는 수온과 광주기 등 외부환경 제어에 의한 생식주기를 조절하여 이에 따른 생체지수의 변화, 생식소의 발달과정, 간 조직상의 변화, 성스테로이드호르몬의 변화, 산란시기 및 산란량의 변화 등을 조사하였으며, 산란된 알의 난질평가를 위하여 산란량에 따른 부상률, 수정률, 부화율과 난경 및 유구경 등을 조사하였다.



## II. 재료 및 방법

### 1. 실험재료

**성현상 조사용 실험어** 성현상과 성전환 조사에 사용한 감성돔은 국립수산진흥원 여수수산종묘시험장에서 사육중인 양식산 어류중 1년어 (1998년산), 2년어 (1997년산), 3년어 (1996년산)로서, 1, 2, 3년어 각각 120마리를 1년어는 1 톤, 2, 3년어는 3 톤 FRP 원형수조에 각 수조당 에어를 2 개소에 1 ℓ/min 로 통기하여 분리 수용하였다(Table 1).

Table 1. Body measurement with the first-, second-, third-year class of the black seabream, *A. schlegeli*

Year	Total length (cm)		Body weight (g)		Number of Sample
	Range	Mean(±SD)	Range	Mean(±SD)	
1	10.5~20.2	14.38±0.7	23.5~121.5	41.7±7.3	120
2	14.4~24.2	19.89±1.6	55.2~279.5	135.4±12.2	120
3	23.4~31.5	27.25±2.4	182.5~640.6	358.5±15.6	120

**성스테로이드호르몬 처리용 실험어** 성전환 유도를 위하여 1년어~3년어까지 세단계 연령군으로 나누어 검토하였다. 1998년산 감성돔(6~17개월령) 120마리(전장 10.5~20.2 cm), 1997년산 감성돔(18~29개월령) 120마리(전장 14.4~24.2 cm), 1996년산 감성돔(30~41개월령) 60마리(전장 23.4~31.5 cm)를 이용했다. 각 실험구의 사육기간은 1998년 11월~1999년 10월(12개월)까지 모두 동일한 시기에 실시하였다.

**생식주기 조사용 실험어** 생식세포 형성과정을 조사하기 위하여 여수수산종묘 시험장에서 3 톤 FRP 원형수조에 감성돔 1, 2년어를, 3년어는 20 톤 콘크리트 원형수조에 각각 120마리씩 수용하여 사육하면서 무작위로 매월 10마리씩을 추출하여 실험에 사용했다.

**수온과 광주기 조절용 실험어** 실험에 사용한 감성돔은 국립수산진흥원 여수수산종묘시험장에서 1995년 5월부터 1998년 8월까지 30 톤(실수량 22 톤) 원형 콘크리트수조 2개에 각각 230마리씩 분리 수용하여 사육중인 460마리였다. 이중 전장 22.5~33.1 cm(평균 26.4 cm), 체중 190.5~610.2 g(평균 326.7 g)인 3~4년생 어미 240마리를 각 실험구당 60마리씩 선별하여 7 톤 원형 콘크리트 수조 (유효수량 5톤) 4개에 수용하였다(Table 2).

Table 2. Monthly changes in mean total length, mean body weight and their ranges of the cultured black seabream during the experimental period

Date	Total length (cm)		Body weight (g)		Number of sample
	Range	Mean( $\pm$ SD)	Range	Mean( $\pm$ SD)	
Sep. 1998.	22.5~33.1	26.38 $\pm$ 12	190.5~610.5	326.71 $\pm$ 56	40
Oct.	24.1~30.5	27.89 $\pm$ 67	215.2~449.5	360.45 $\pm$ 25	40
Nov.	24.1~31.5	27.25 $\pm$ 33	282.5~560.6	398.52 $\pm$ 17	40
Dec.	23.5~31.2	27.37 $\pm$ 14	245.1~595.6	365.59 $\pm$ 32	40
Jan. 1999.	23.5~32.0	27.46 $\pm$ 35	210.5~730.4	358.34 $\pm$ 19	40
Feb.	23.5~35.0	27.97 $\pm$ 83	208.5~581.2	401.96 $\pm$ 78	40
Mar.	24.2~33.5	28.16 $\pm$ 06	251.31~786.3	416.95 $\pm$ 65	40
Apr.	24.5~33.4	28.34 $\pm$ 21	287.95~799.5	423.12 $\pm$ 04	40
May	25.6~35.0	28.42 $\pm$ 22	301.11~755.5	414.53 $\pm$ 31	40
Jun.	26.5~31.8	28.63 $\pm$ 43	264.65~589.9	402.64 $\pm$ 35	40
Jul.	24.5~32.3	28.91 $\pm$ 49	248.7~512.2	405.17 $\pm$ 06	40
Aug.	25.8~34.5	29.35 $\pm$ 18	312.8~675.33	474.33 $\pm$ 22	40

## 2. 실험방법

### 1) 성현상과 성전환

**사육조건** 성현상과 성전환 조사를 위한 실험어의 사육방법은 1년어는 1톤, 2, 3년어는 3톤 수조에 각각 120마리씩 수용하여 사육하였다. 사료는 배합사료와 생사료(냉동전갱이)를 1:3의 비율로 혼합한 습사료를 오전 10시경에 공급하고 실험어 생태조사시에 저면 청소를 실시하였다. 사육환경(수온, 비중, pH, 조도)은 매일 오전 10시에 측정하였다. 사육수온은 월동중 10°C 이하가 되지 않도록 순환여과 사육시스템으로 조절하였다. 실험기간중 수온은 9.6~27.8°C, 비중( $\delta 15$ )은 1.0186~1.0253 범위였다.

**생체지수와 조직학적 조사** 생식소 성숙 상태의 월변화를 조사하기 위하여 생식소중량지수(gonadosomatic index: GSI)는 생식소중량 $\times 100$ /체중으로, 간중량지수(hepatosomatic index: HSI)는 간중량 $\times 100$ /체중으로, 비만도(condition factor: CF)는 체중 $\times 100$ /전장<sup>3</sup>의 식에 의하여 계산하였다.

생체지수의 조사는 매월 20일에 각 실험구별로 10마리씩 실험어를 채취하여 전장은 0.1 cm, 체중, 내장, 간 및 생식소 무게는 0.1 g 단위까지 측정하였다. 월별 생식소의 조직학적 변화를 조사하기 위하여 생식소의 중앙부위를 절개한 후 Bouin 용액에 고정하였다. 생식소 조직의 관찰은 생식소의 좌측 중앙부분을 절개하여 파라핀에 고정시키고 5~7  $\mu\text{m}$  두께로 절단했다. 조직절편은 haematoxylin과 eosin으로 이중 염색했다. 생식세포의 발달단계는 Htun-Han (1978a, b)의 방법에 따랐다. 각 시료의 생식소 횡단면조직에서 정소조직과 난소조직의 비율은 만능투영기하에서 계산했다(V-12A, Nikon).

**성비분석** 성비분석은 Lee et al. (1999)의 방법에 따라 생식소의 좌측 중앙부위

의 난소부위와 정소부위의 비율을 만능투영기하에서 구한 후, 그 비율을 6단계로 나누었다. 난·정소의 비율이 0~10 : 90~100은 stage I, 10~30 : 70~90은 stage II, 30~50 : 50~70은 stage III, 50~70 : 30~50은 stage IV, 70~90 : 10~30은 stage V, 90~100% : 0~10%는 stage VI으로 구분하였다. 어느 한쪽의 성비가 70% 이상을 차지하는 부위로 암·수를 판별하고 30~70% 범위는 자용동체로 판별하였다(Table 3).

Table 3. Proportions (%) of either ovarian area or testis area in gonad of black seabream, *A. schlegeli*

Stage	Ovary (%)	Testis (%)
I	0~10	90~100
II	10~30	70~90
III	30~50	50~70
IV	50~70	30~50
V	70~90	10~30
VI	90~100	0~10

## 2) 호르몬 처리에 의한 성전환

**성전환 유도** 성전환 유도를 위하여 실험구는 6개구로 나누어 1년어는 1톤, 2, 3년어는 3톤 FRP 원형수조에 수용하여 호르몬( $E_2$ )을 경구투여 하였다. 각 실험구에는  $E_2$  를 2 ppm 농도로 경구투여 하였다. 각 연령별 대조구는 에탄올을 2 ppm 농도로 경구투여 하였다. 사육수는 자연수를 지속적으로 주입하면서 월동중 10℃ 이하가 되지 않도록 조절하였다.

**호르몬처리** 호르몬처리는 Guerrero (1975)가 사용한 알콜증발법으로 하였다. 성분조성이 조단백 42.0%, 조지방 5.0% 이상, 조섬유 3.5% 이하, 조회분 17.0% 이

하, 칼슘 1.6% 이상, 인 1.8% 이하인 넙치용 부상사료에 E<sub>2</sub> 를 첨가하였다. 사료에 E<sub>2</sub> (2 mg E<sub>2</sub> /kg diet)를 골고루 뿌린 후 1시간 동안 드라이 오븐에 건조시켜 냉장보관하고, 사료유실이 없도록 매일 어체중의 1% 내외로 일정량을 공급했다 (Table. 4). 실험어 sample시에 가벼운 저면 청소를 실시했다. 대조구는 에틸알콜을 사료에 동일량 뿌린 후 건조시켜 냉장보관하고 공급했다. 사육환경(수온, 비중, pH, 조도)은 오전 10시에 측정했다.

**조직학적 조사 및 성스테로이드호르몬 분석** 성스테로이드호르몬 활성변화를 조사하기 위해 매월 20일에 실험구별로 10마리의 어류를 채취하여 MS-222로 마취하고 heparin 처리한 주사기로 척추하동맥으로 부터 혈액을 뽑은 후 냉동 원심분리기를 이용하여 10,000×G에서 10분간 원심분리했다. 분리된 혈장은 hormone 농도 측정에 사용할 때까지 -70℃에 보관했다. 조직표본은 1)장과 동일하게 하였다.

Table 4. Amount of estradiol-17β fed to the black seabream, *A. schlegeli* during the experiment

Age	Range (months)	Date (months)	Kinds	Treatment (mg E <sub>2</sub> /kg diet)
1	6~17	Nov. 1998~Oct. 1999	estradiol-17β	2
Control	6~17	Nov. 1998~Oct. 1999	ethyl alcohol	2
2	18~29	Nov. 1998~Oct. 1999	estradiol-17β	2
Control	18~29	Nov. 1998~Oct. 1999	ethyl alcohol	2
3	30~41	Nov. 1998~Oct. 1999	estradiol-17β	2
Control	30~41	Nov. 1998~Oct. 1999	ethyl alcohol	2



혈장내에 존재하는 스테로이드의 추출은 Ueda et al. (1985)의 방법에 따랐다. 추출은 시료 250  $\mu$ l에 2 ml의 hexane 과 ethyl ether를 첨가하고 2분간 강하게 진탕하고, 실온에서 10분간 방치하여 수층과 ether층을 분리한 후  $-70^{\circ}\text{C}$ 의 냉동기에서 10분간 수층을 결빙시키고 그 상등액을 실험관에 옮겨 이를 2회 반복한 후 실험관의 ether는 원심분리기를 이용하여 완전히 증발시켰다. 지질 제거를 위해 곧바로 50% methanol 0.4 ml에 녹이고 hexane 2 ml를 첨가하여 강하게 진탕하고 지질이 녹아있는 hexane 층은 pasteur pipet으로 제거하였다. 스테로이드가 녹아있는 methanol 층은 원심농축기를 이용하여 증발시키고 각각의 추출물에 1 ml의 0.1% gel-PBS buffer (pH 7.5)를 넣어 강하게 교반하여 스테로이드를 녹였다. 이때 얻은 시료는 방사선면역측정법(radioimmunoassay, RIA)에 의하여 정량할 때까지  $-20^{\circ}\text{C}$ 에 보관하였다.

스테로이드 RIA의 일반적인 과정은 Aida et al. (1984)의 방법에 따랐으며, 스테로이드 측정을 위하여  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서 보관중인 시료와 스테로이드 농도를 0.03 ng/ml 까지 8단계로 만든 스테로이드를 상온에서 녹인 후 시료와 스테로이드 각각 200  $\mu$ l에  $^3\text{H}$ 로 방사표지된 스테로이드를 각각 100  $\mu$ l (약 10000 cpm)씩 넣은 다음 희석 항체(Bo/T: 30~50%)를 200  $\mu$ l씩 넣고 교반시켜  $4^{\circ}\text{C}$  하에서 12시간 동안 반응시켰다. 항원 항체의 결합형과 유리형을 분리하기 위해 DCC를 250  $\mu$ l씩 첨가하여 진탕하고  $4^{\circ}\text{C}$ 에서 15분간 방치한 후  $4^{\circ}\text{C}$ 에서  $2000\times\text{G}$ 로 15분간 원심분리 하였다. 결합형 상등액 500  $\mu$ l를 측정용 시험관으로 옮겨 여기에 3 ml의 scintillation cocktail (Hisafe, Wallac)을 넣어 혼합한 후 2시간 동안 방치하여 숙성시킨 다음 scintillation counter (Wallac, Model 1409, counting efficiency: 53%)에 의해 duplication으로 1분간 counting 하였다.

사용된 steroid 표준 물질은 Sigma제를 사용하였고, 방사표지 steroid로는  $2\text{-}^3\text{H}$ -estradiol- $17\beta$ ,  $1,2,6,7\text{-}^3\text{H}$ -testosterone을 사용하였다.  $\text{E}_2$  항체는 프랑스 INRA에서 제작하여 교차반응 실험한 것을, T 항체는 Sigma제를 사용했다.

**성비분석** 성호르몬 처리에 의한 성전환 유도 효과를 알기 위하여 생식소의 좌엽 중앙부분의 횡단면을 만능투영기를 이용해 1)장과 동일한 방법으로 성비를 구했다.

**통계처리** 자료 분석은 대조구와 E<sub>2</sub> 처리구 사이의 성스테로이드호르몬 농도와 GSI의 평균간의 유의성은 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 구하고 성비는  $x^2$ -test를 이용하여 검정하였다.

### 3) 생식주기

**사육조건** 사육중 먹이는 배합사료와 생사료(냉동전갱이)를 1:3의 비율로 혼합한 습사료를 매일 어체중의 1% 내외로 공급하고 1 시간후 사육수의 20%를 환수했다. 사육조건(수온, 비중)은 매일 오전 10시에 측정했다. 실험기간중 수온은 9.6~25.8℃, 비중( $\delta$  15)은 1.0186~1.0253범위였다(Fig. 1).

**조직학적 조사** 실험어를 연령별로 1년간 사육하면서 매월 10마리씩 채집하여 어체측정 후 생식소중량 및 간중량을 측정하고, 조직학적 변화를 관찰하기 위해 생식소를 절개한 후 Bouin 용액에 고정했다 조직관찰은 1)장과 동일한 방법으로 하였다.

**난경조사** 난경조사는 난소를 10% formalin에 고정한 후 1 cm 두께로 난소막에서 난소강까지 절단하여 난소조직을 Gilson 용액(Love and Westphal, 1981)에 넣어 결합조직과 알들을 분리한 후 해부현미경으로 측정하였다.

### 4) 수온과 광주기에 의한 생식주기 조절

**사육조건** 사육은 월동중 10℃ 이하가 되지 않도록 순환여과 사육시스템으로

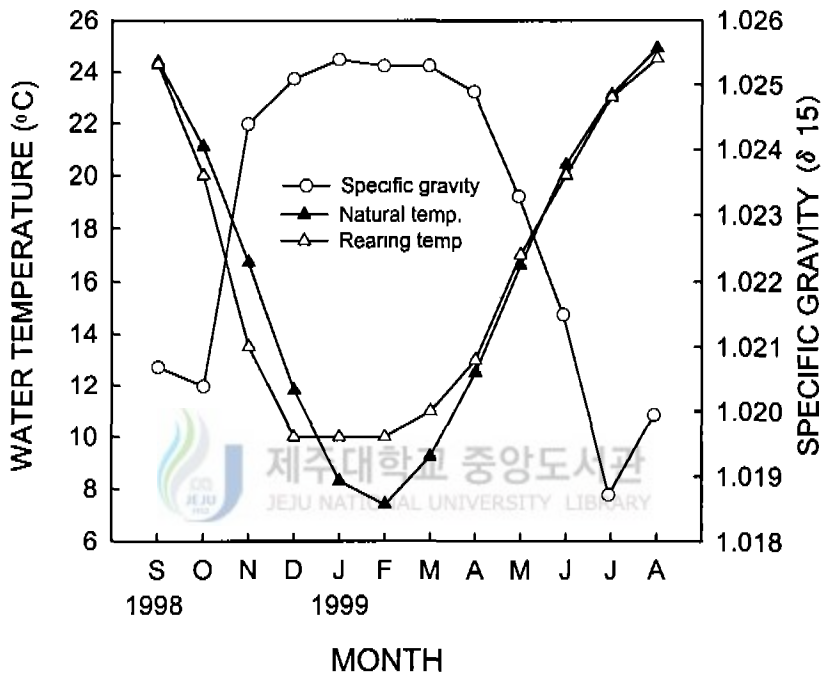


Fig 1. Monthly variation in water temperature and specific gravity measured in rearing tanks for black seabream during the experimental period.

로 조절하였다(Fig 2, 3). 사료는 배합사료와 생사료(냉동전갱이)를 1 : 3의 비율로 혼합한 습사료를 오전 10시경에 암막장치에 설치된 문을 통하여 매일 일정량을 공급하였다. 사료공급 1 시간후에 사육수의 20%를 환수하고 1개월에 1회씩 실시하는 실험어 생태조사시에 저면 청소를 실시하였다. 사육환경(수온, 비중)은 매일 오전 10시에 측정하였다.

**수온과 광주기 조절** 실험은 1998년 9월 23일부터 시작하였다. 생식주기조절 실험시작시의 수온과 광주기는 실험구 I: 자연해수(10~24℃) + 광주기 조절, 실험구 II: 항온해수(14℃~24℃) + 광주기 조절, 실험구 III: 항온해수(14℃~24℃) + 자연 광주기, 대조구: 자연해수(10~24℃) + 자연 광주기로 조절하였다(Table 5). 광주기 조절은 자연조건보다 2개월 빠르게 하였다. 수온조절방법은 보일러 및 heat pump를 이용하여 실험구 II, III은 14℃의 상온으로 조절하고 실험구 I 및 대조구는 자연수를 지속적으로 주입하였다(Fig. 4).

Table 5. Water temperature and photoperiod controlled for this experiment

	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Control
Water Temperature	Natural	≥14℃	≥14℃	Natural
Day Length	2 Months early	2 Months early	Natural	Natural

광조절 방법은 실험수조 위에 검정색 캔버스를 둘러 씌워 완벽한 암막장치를 설치하여 외부로부터 빛을 차단한 후 자연광에 가까운 등(300W)과 24시간 타이머(10분 간격)를 설치하여 여수 지방의 자연 광주기보다 2개월 앞당긴 조건으로 점진적으로 L/D를 1998년 9월에 12 : 12에서 11월 27일에 10.5 : 13.5로 단일처리한 후, 다시 매회 약 10분간 장일처리하여 2월에 12 : 12로 조절하고 1999년 3월에

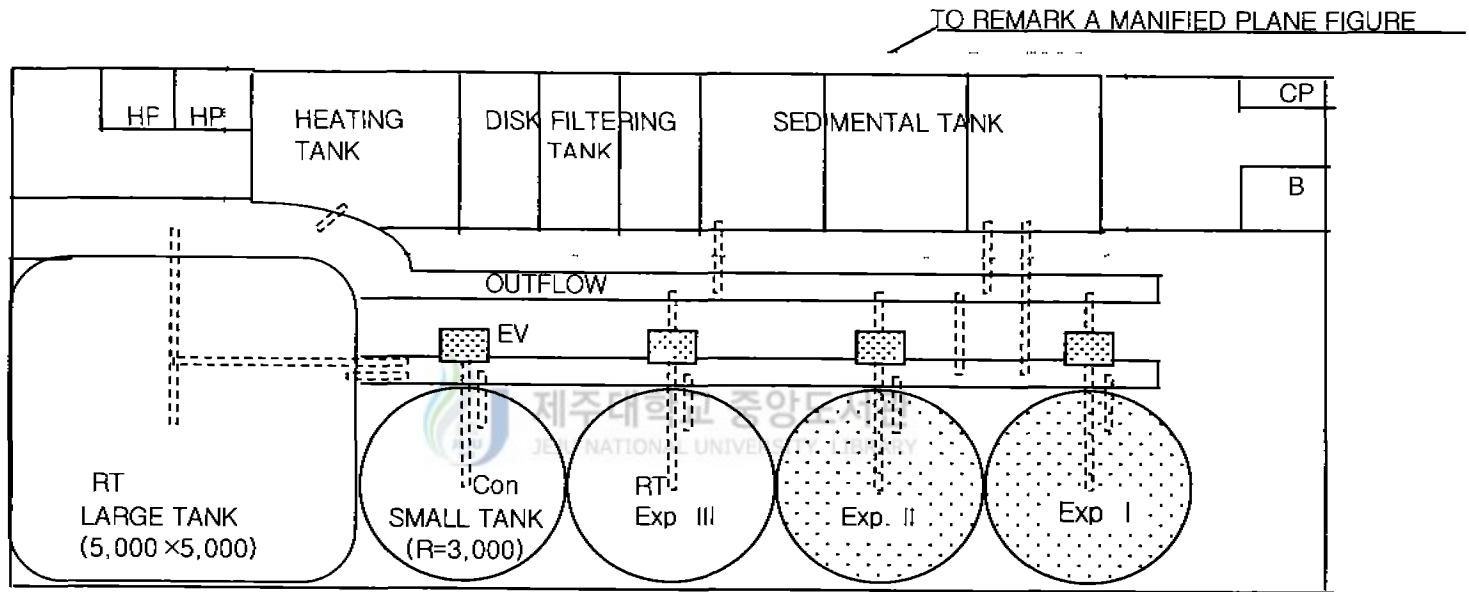


Fig. 2. Diagram of the rearing system for the control of water temperature and photoperiod. CW: control of water temperature, HP: heat pump, CP: control photoperiod, B: boiler, RT: rearing tank, EV: egg gathering vessel.

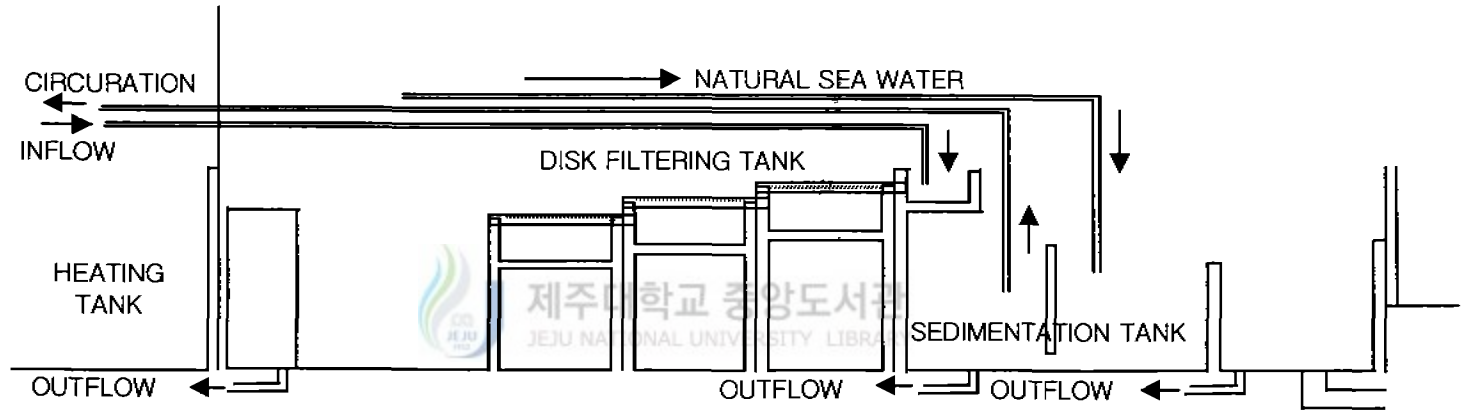


Fig. 3. Diagram showing the experimental installation for the test of nitrification in the rotating biological contactor RBC system.

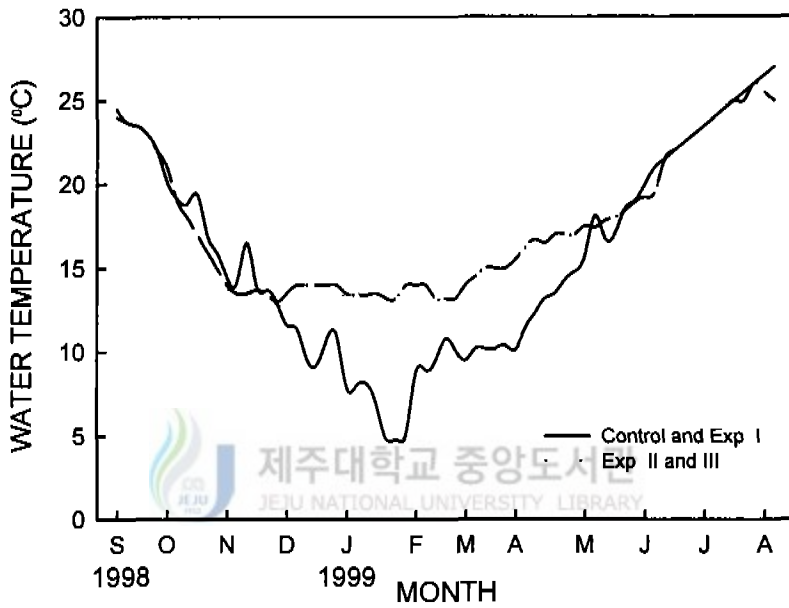


Fig. 4. Changes of water temperature in four experimental groups (experiment I, II, III and control).

14 : 10으로 조절하였다(Fig. 5). 광원에 의한 수면조도는 수조 중앙이 100 lux, 가장자리가 80 lux 되도록 하였다.

**호르몬 분석** 매월 20일 각 실험구에서 10마리씩의 어류에서 채혈한 후 원심분리 하였다. 분리된 혈장은 hormone 농도 측정에 사용할 때까지 -70℃에 보관했다. 스테로이드호르몬의 분석은 2)장과 동일한 방법으로 하였다.

**알 수집** 산란된 부상란은 집란조에 설치한 사각 거름망(망목 0.5 mm 나일론, 직경 70×70×70 cm)내에 모이도록 하였다. 알의 수집은 오전 8시경에 하였으며, 수집된 알은 2회 세란하여 총산란량을 계수하였다. 부상률은 총산란량에 대한 부상란량의 백분율로 계산하였으며, 수정률은 100개의 부상란 중 난할이 진행되고 있는 알의 수로 계산하였다. 알의 계수는 용적법으로 하여 1 cc당 900개로 환산하였다.

**알 발생** 성전환 유도된 어미를 수온과 광주기 조절로 조기 산란된 수정란의 수정률과 정상적인 발생과정 및 부화율을 조사하기 위하여 발생에 사용한 감성돔 수정란은 수온과 광주기를 조절한 실험 II의 알을 이용했다.



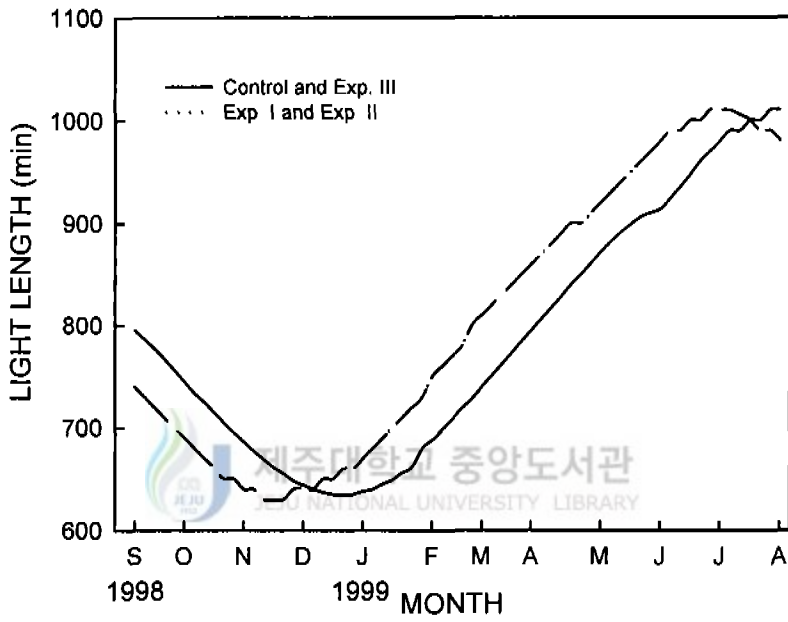


Fig. 5. Changes of photoperiod in four experimental groups (experiment I, II, III and control).

### III. 결 과

#### 1. 성현상과 성진환

##### 1) 생식소 발달

**1년어(6~17개월령)** 1년어의 전장과 체중과의 관계는 Fig. 6과 같다.

1년어 감성돔 생식소의 조직횡단면에서 난소조직과 정소조직의 범위를 Fig. 7A, B에 나타냈다. 11월의 6개월령 감성돔에서 생식소내 난소조직은 10개의 생식소 조직중 2개만이 관찰되었다. 1월의 8개월령에서 생식소내 난소조직은 모든 개체에서 발달되었고 정소조직과 분리되었다(Stage I). 10개월령과 그 이상 월령의 감성돔에서 생식소의 정소부위에서 정모세포군, 정세포군, 정자무리등 여러발달단계의 정자형성이 진행되었다(Fig. 7A). 11개월령이 된 1999년 4월의 생식소내 정소부분은 현저히 발달했다. 산란기 후인 6월부터(13개월령) 난소부위의 범위가 증가하였고(Stage III), 8월(15개월령)에는 염색인기, 주변인기 난모세포로 발달하였다(Fig. 7B).

**2년어(18~29개월령)** 2년어의 전장과 체중과의 관계는 Fig. 8과 같다.

2년어 감성돔 생식소의 조직횡단면에서 난소조직과 정소조직의 범위를 Fig. 7C, D에 나타냈다. 11월의 18개월령에서 생식소내 난소조직은 10개체의 생식소내에 5개체가 관찰되었다. 20개월령에서 정소조직은 잘 발달되었고 난소조직과 분리되었다(Fig. 7C, Stage I). 21개월령에서 생식소내 난소조직과 정소조직 둘 다 성장하기 시작했다. 산란기간동안 정소부분은 현저히 발달했고, 4월의 23개월령에 기능적인 수컷이 되었다. 7월의 26개월령부터 정소부분은 퇴화하였고 난소부위는 발달하였다(Fig. 7D, Stage II).

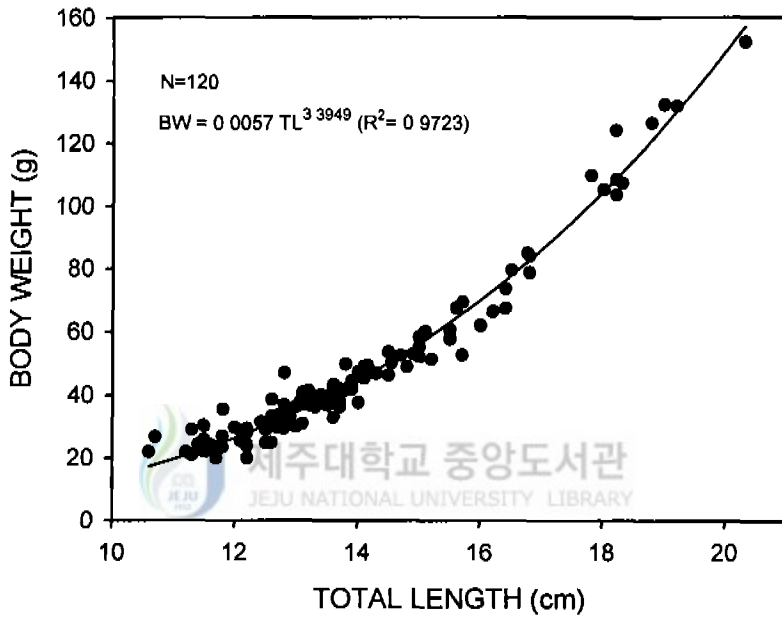


Fig. 6. Relationship between total length and body weight of the first-year class of black seabream, *A. schlegeli*.

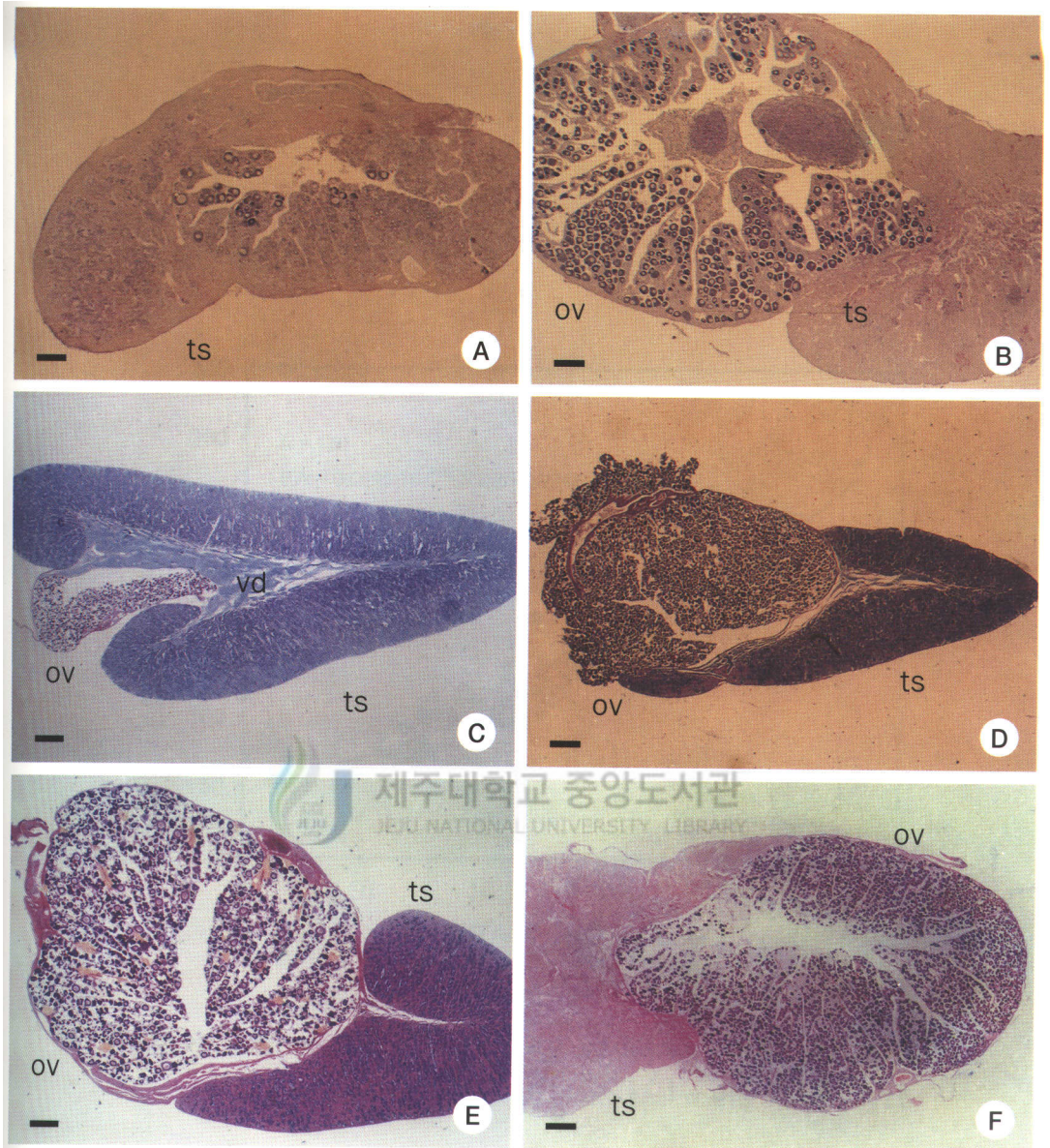


Fig. 7. Comparison of the transverse area occupied by the testicular and ovarian tissue in the central part of the gonads from black seabream, *A. schlegeli*.

A, B: 1st-year class; C, D: 2nd-year class; E, F: 3rd-year class; A, C: stage I; B, E: stage IV; D: stage III; F: stage V. ov: ovarian part; ts: testicular part; vd: vas deferens. Bars: 100  $\mu$ m.

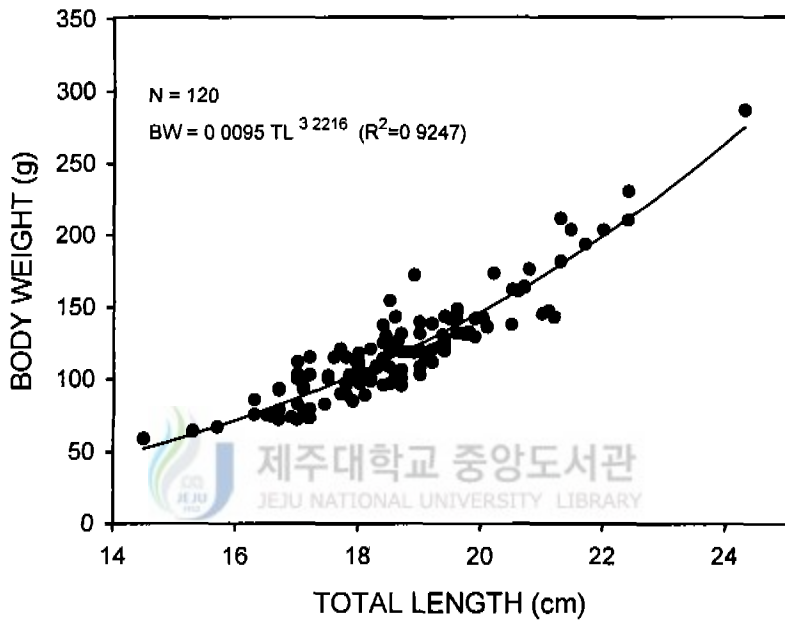


Fig. 8. Relationship between total length and body weight of the second-year class of black seabream, *A. schlegeli*.

**3년어(30-41개월령)** 3년어의 전장과 체중과의 관계는 Fig. 9와 같다.

3년어 감성돔 생식소의 조직횡단면에서 난소조직과 정소조직의 범위를 Fig. 7E, F에 나타냈다. 11월의 30개월생에서 생식소내 난소부위는 10개체의 생식소내에서 10개 모두 관찰되었다(Stage II). 2월의 33개월생에서 난소부위에서 난모세포가 발달되었고 정소부위와 분리되었다(Fig. 7E, Stage IV). 3월의 34개월생에서 난소부위와 정소부위 둘 다 성장하기 시작했다. 산란기간동안 정소 또는 난소조직은 어느 한쪽의 성으로 현저히 발달했고, 산란기인 5월에 기능적인 수컷 또는 암컷이 되었다(Fig. 7F, Stage V). 산란기후인 6월부터 8월까지의 생식소내의 난·정소역의 비율이 비슷하게 분포하였다.

## 2) 성비

양식산 감성돔을 사육하면서 연령별로 조사한 전장에 따른 성의 출현빈도는 Fig. 10, 11, 12와 같다.

**1년어** 1년어의 전장에 따른 성의 출현빈도는 Fig. 10과 같다.

전장 10.5~20.2 cm 범위에서 성별 출현빈도는 전 개체의 61.6%는 수컷, 34.2%는 자웅동체, 4.2%는 암컷 상태였다. 전장의 크기별로 보면 수컷의 출현 범위는 10.5~18.5 cm, 자웅동체의 출현 범위는 10.5~19.2 cm, 암컷의 출현 범위는 17~20.2 cm 였다.

**2년어** 2년어의 전장에 따른 성의 출현빈도는 Fig. 11과 같다.

전장 14.2~24.2 cm 범위에서 성별 출현빈도는 개체의 67.5%는 수컷, 29.2%는 자웅동체, 3.3%는 암컷 상태였다. 전장의 크기별로 보면 수컷의 출현 범위는 14.2~22.1 cm, 자웅동체의 출현 범위는 14.5~24.4 cm, 암컷의 출현 범위는 22.3~24.5 cm 였다.

**3년어** 3년어의 전장에 따른 성의 출현빈도는 Fig. 12와 같다.

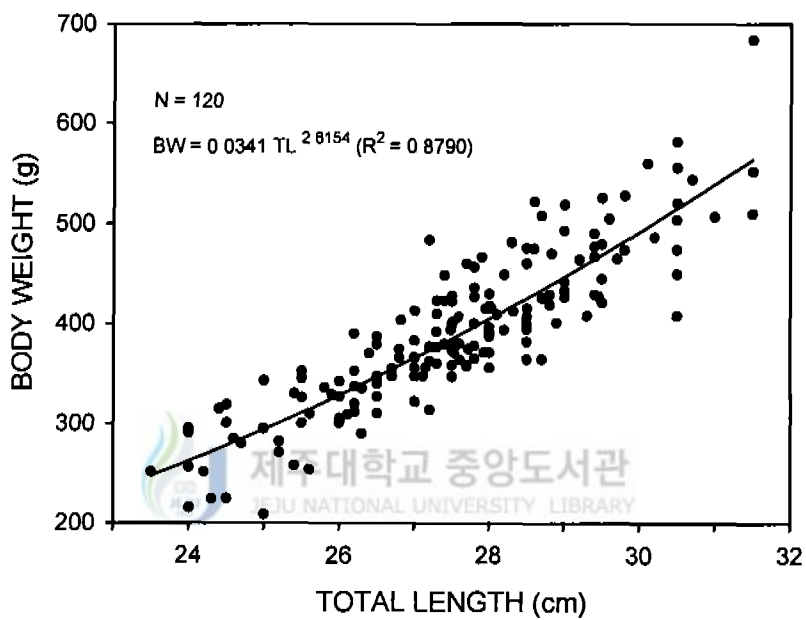


Fig. 9. Relationship between total length and body weight of the third-year class of black seabream, *A. schlegeli*.

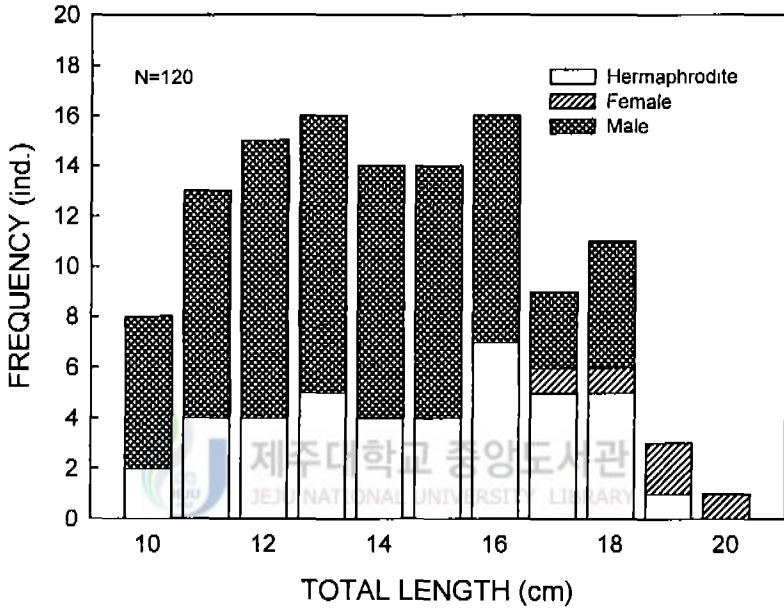


Fig 10. Composite figure showing the relationship between sex composition and total length in the first-year class of black seabream, *A. schlegeli*.



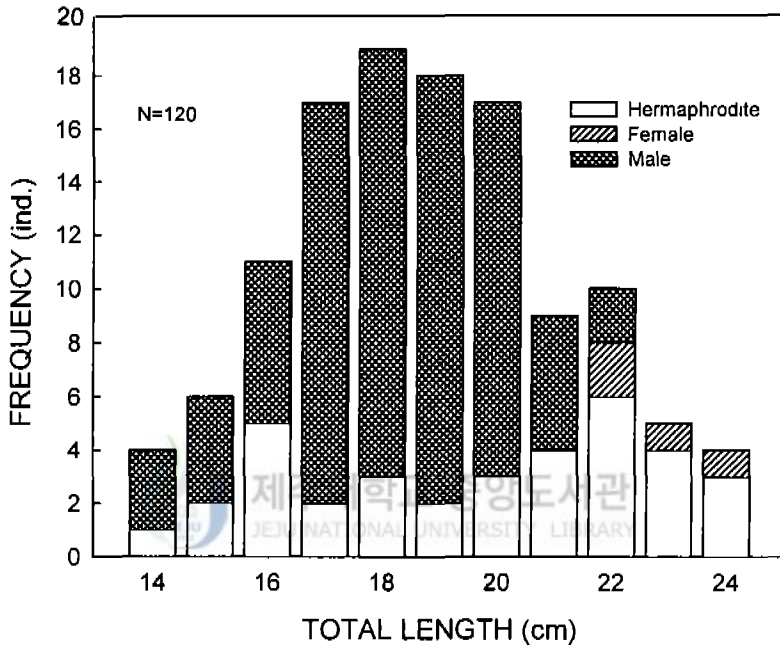


Fig. 11. Composite figure showing the relationship between sex composition and total length in the second-year class of black seabream, *A. schlegeli*.

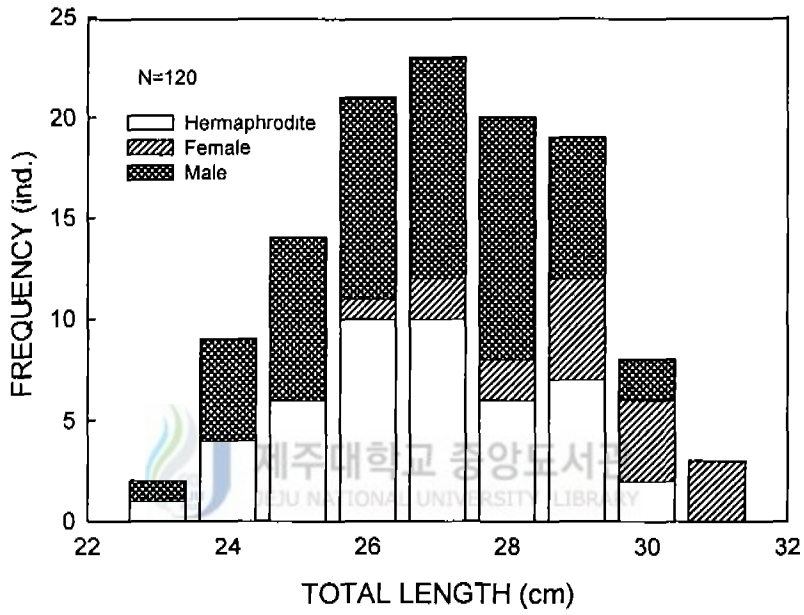


Fig 12 Composite figure showing the relationship between sex composition and total length in the third-year class of black seabream, *A. schlegeli*.

전장 23.4~31.5 cm 범위에서 성별 출현빈도는 전 개체의 47.5%는 수컷, 38.3%는 자웅동체, 14.2%는 암컷이었다. 전장의 크기별로 보면 수컷의 출현 범위는 23.5~30.4 cm, 자웅동체의 출현 범위는 23.5~30.2 cm, 암컷의 출현 범위는 26.5~31.1 cm 였다.

### 3) 자웅동체 현상

1년어의 생식소에서는 대부분 정소역이 차지하고 있어서 난소조직은 볼 수 없었으나, 산란기 후인 7~10월(14~17개월령)부터 난소역이 발달되면서 염색인기 난모세포를 볼 수 있었다. 2년어에서는 정자무리를 볼 수 있었다. 3년어 표본의 반수 이상에서는 성숙한 정소가 있었으며 복부압박으로 정액이 추출되었다. 3년어의 몇몇 개체에서는 산란기 동안에 정소조직이 거의 없는 난소였다. 암컷은 4년째로 접어들면서 숫자상으로 기능적 암컷이 많이 증가하기 시작하고 대부분 난소부분에서 성숙 난모세포가 존재했다.

감성돔은 전장에 관계없이 난소부분을 포함하는 생식소내의 정소부분에서 정자가 생산되는 반면, 정자형성이 활발한 생식소에서는 성숙란은 찾아볼 수 없었다. 생식소 각각의 기부 표면에 뚜렷한 세로 홈을 가진 수컷 생식소는 항상 난소 흔적을 가지고 있었다. 자웅동체 개체는 생식소가 휴지기 상태인 11월~2월의 표본에 많이 출현하였고, 산란기의 표본에는 거의 출현하지 않았다. 조사한 샘플에서 감성돔의 자웅동체의 전장은 10.2~30.5 cm였다.

실험기간동안 대부분의 표본에서 생식소의 외형적 관찰로도 식별이 가능한 자웅동체현상을 보였다. 그러나, 성 성숙기인 5~6월에는 암·수 중 한쪽의 성이 발달하여 나머지 생식소 부분은 혼적적으로 남았다.

## 2. 호르몬 처리에 의한 성전환

### 1) 호르몬 처리구의 생체지수

**1년어** 1998년 11월 20일부터 1999년 10월 20일까지 FRP 원형수조에서 자연수 온과 자연 광주기로 사육한 1년어의 성장에 따른 월별 GSI와 HSI는 Fig. 13과 같다.

GSI는 대조구의 경우 1998년 11월에 0.061에서 이듬해 4월에 0.19로 증가하여 5월에 0.21로 최고치였고, 6월에 0.053으로 감소하여 10월까지 0.052~0.079 범위로 낮았다.

E<sub>2</sub> 처리구의 경우 1998년 11월부터 1999년 7월까지 0.043~0.082 범위로 낮았으나 8월에 0.17, 9월에 0.28, 10월에 0.31로 최고치를 보였다.

HSI의 월변화를 보면 1999년 12월에 대조구는 2.71에서 서서히 감소하여 1999년 8월에 1.25를 나타낸 후 10월까지 2.07까지 증가하였고, E<sub>2</sub> 처리구는 1998년 12월에 2.6에서 서서히 감소하여, 1999년 7월에 2.53으로 다시 증가한 후 10월까지 1.08로 낮아졌다.

**2년어** 1998년 11월 20일부터 1999년 10월 20일까지 FRP 원형수조에서 사육한 2년어 감성돔의 성장에 따른 월별 GSI와 HSI는 Fig. 14와 같다.

GSI는 대조구의 경우 1998년 11월에 0.13, 이듬해 3월에 0.46, 4월에 2.31로 증가하여 5월에 7.51로 최고치였고, 6월에 5.02로 감소하여 7월부터 10월까지 0.21~0.31 범위로 낮은 값을 보였다.

E<sub>2</sub> 처리구는 1998년 11월부터 1999년 3월까지 0.11~0.43 범위를 보이다가 4월에 1.33로 증가하여, 5월에 2.21로 최고치였고, 7월부터 10월까지 0.46~0.84 범위로 낮았다.

HSI의 월변화를 보면 대조구의 경우 1999년 1월에 2.72로 최고치였고, 이후 감소하여 8월에 0.94까지 감소한 후 10월에 1.47로 서서히 증가하였다. E<sub>2</sub> 처리구 역시 1월에 2.91로 연중 최고치였고, 이듬해 10월까지 0.76으로 서서히 감소하였다.

**3년어** 1998년 11월 20일부터 1999년 10월 20일까지 3 ton FRP 원형수조에서

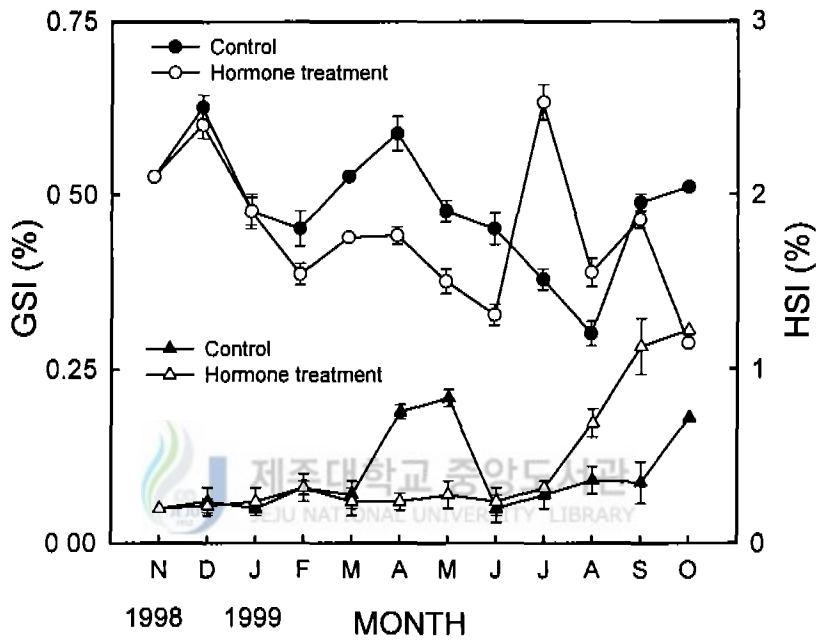


Fig. 13. Monthly changes in GSI and HSI from the first-year class of black seabrem cultured under hormone-treated and natural condition. The triangles and circles represent GSI and HSI, respectively.

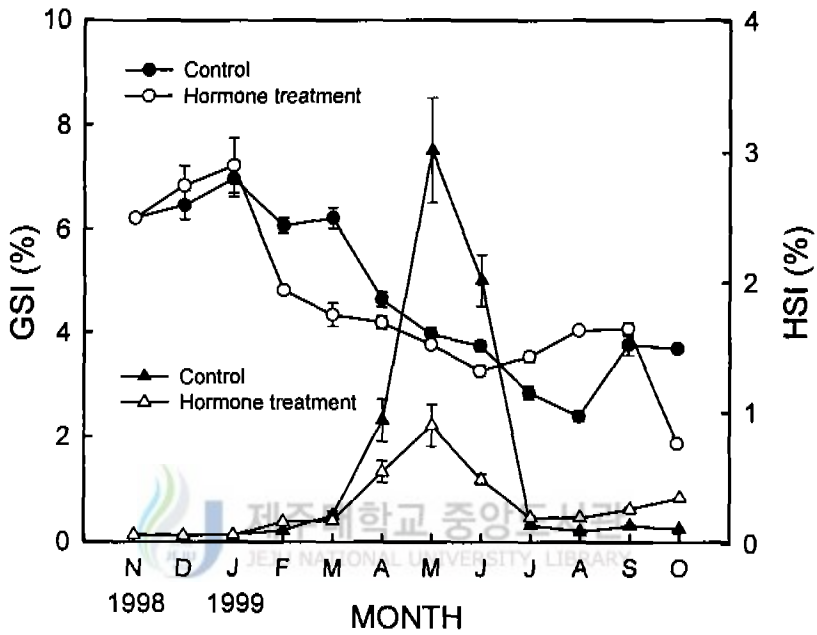


Fig. 14. Monthly changes in GSI and HSI from the second-year class of black seabream cultured under hormone-treated and natural condition. The triangles and circles represent GSI and HSI, respectively.

사육한 3년어 감성돔의 성장에 따른 월별 GSI와 HSI는 Fig. 15와 같다.

GSI는 대조구의 경우 1998년 11월에 0.34로 낮은 값에서 서서히 증가해 이듬해 3월에 1.72, 4월에 4.81로 급격히 증가하여 5월에 12.01로 최고치였고, 6월에 5.01, 7월에 1.42로 급격하게 낮아져, 8월 이후부터 10월까지 0.37로 낮게 나타났다.

$E_2$  처리구의 경우 1998년 11월부터 1999년 3월까지 0.40~0.80 범위로 낮은 값을 보이다가 4월에 1.33, 5월에 3.91로 최고치였고, 6월에 1.18로 약간 감소한 후 10월까지 0.30~0.40으로 낮았다. 그러나,  $E_2$  처리구의 경우, 산란기인 5월에 최고치가 대조구의 1/3 수준으로 낮았다.

HSI의 월변화를 보면 대조구의 경우 1998년 12월에 최고치인 2.64였고, 서서히 하락하기 시작하여 9월에 1.23까지 하강한 후 10월에 1.83으로 증가했다.

$E_2$  처리구의 경우, 대조구에 비하여 1개월 후인 1999년 1월에 최고치인 2.95였고, 서서히 감소하여 6월에 1.36을 보인 후 7월부터 10월까지 2.14로 서서히 증가하였다.

CF 1998년 11월 20일부터 1999년 10월 20일까지 FRP 원형수조에서 사육한 1, 2, 3년어 감성돔의 성장에 따른 월별 CF의 변화는 Fig. 16과 같다.

1년어 감성돔의 CF 월변화는 대조구와  $E_2$  처리구는 1998년 12월에 각각 최고치인 20.8, 20.6이었고, 이후 서서히 하락하기 시작하여 6월에 최저치인 16.0, 15.6에서 다시 서서히 상승하여 9월에 19.1, 17.2로 높아졌다.

2년어 감성돔의 CF 월변화를 보면 1998년 12월에 대조구 19.16, 와  $E_2$  처리구 19.1이었으나 이후 대조구에서는 서서히 상승하여 이듬해 2월에 최고치인 20.42를 보인 후 3월부터 낮아지기 시작하여 7월에 18.1로 최저치를 보인 후 8월부터 점차 증가하여 10월에 20.2가 되었다. 그러나,  $E_2$  처리구에서는 이듬해 1월부터 낮아지기 시작하여 5월에 15.4로 최저치에 달한 후 6월 이후 10월까지 16.2~16.8 범위로 낮게 지속되었다.

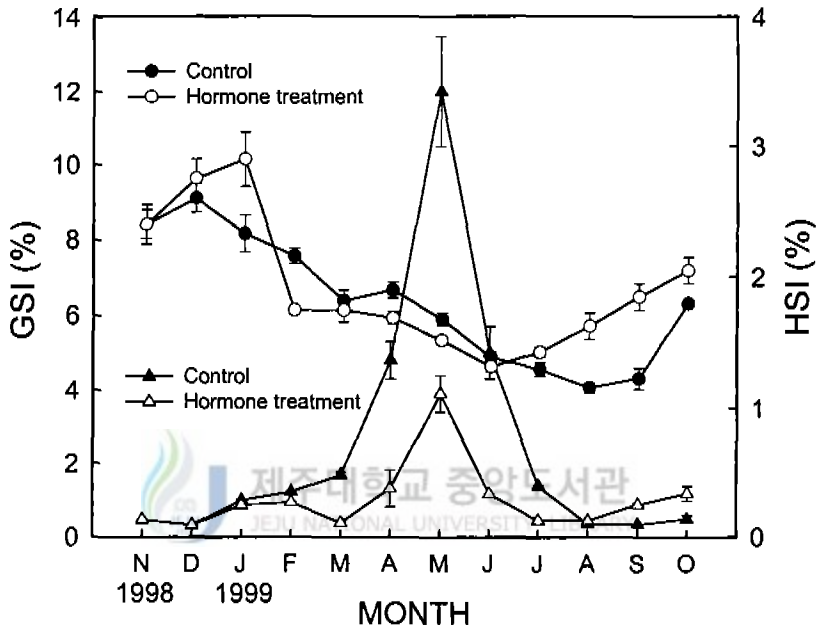


Fig. 15. Monthly changes in GSI and HSI from the third-year class of black seabream cultured under hormone-treated and natural condition. The triangles and circles represent GSI and HSI, respectively.



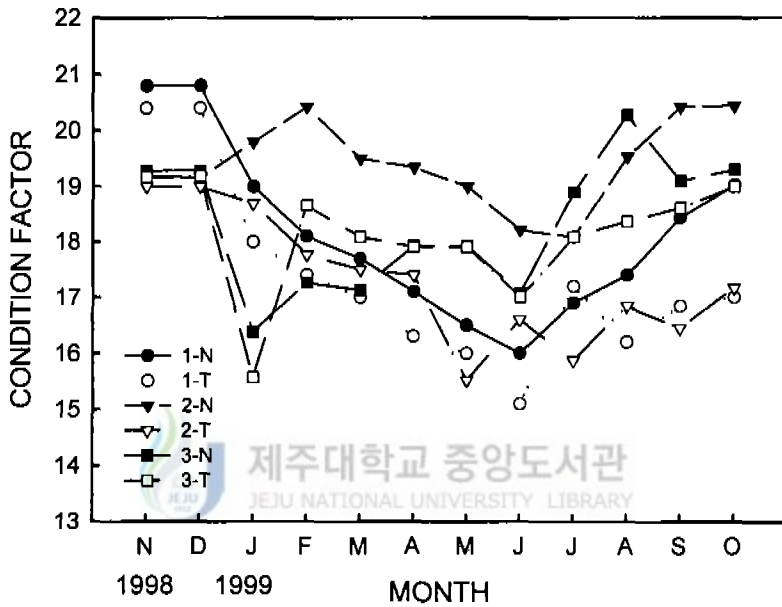


Fig. 16. Monthly changes in condition factor from the first-, second, third-year class of black seabream cultured under hormone-treated and natural condition. The 1-T, 2-T, 3-T and 1-N, 2-N, 3-N represent hormone-treated and natural condition, respectively.

3년어 감성돔의 CF 월변화를 보면 1998년 11월에 19.3이었고, 급격히 하락하기 시작하여 1999년 1월에 16.4로 최저치를 보인 후 6월까지 16~18 범위를 유지하다가 7월부터 상승하기 시작하여 8월에 22.2로 최고치를 보였다. E<sub>2</sub> 처리구 역시 1999년 1월에 15.6으로 최저치를 보인 후 2월부터 증가해 10월까지 18~19범위를 나타냈다.

## 2) 성스테로이드호르몬 농도의 변화

1년어 1998년 11월 20일부터 1999년 10월 20일까지 FRP 원형수조에서 1년간 호르몬을 경구투여 하면서 사육한 1년어 감성돔의 성장에 따른 T 와 E<sub>2</sub> 의 월변화는 Fig. 17, 18과 같다.

T 농도는 대조구와 E<sub>2</sub> 처리구 모두 1998년 11월부터 이듬해 6월까지 10~20으로 낮은 값을 보이다가 대조구는 7월에 35로 증가하여, 9월에 115로 최고치에 달하였다. 그러나, E<sub>2</sub> 처리구는 7월에 70으로 최고치를 보인 후 8월에 다시 15로 낮아졌다.

E<sub>2</sub> 농도는 두 실험구 모두 11월부터 이듬해 5월까지 10으로 낮은 값에서 대조구는 연중 낮은 값을 나타낸 후 9월에 80으로 약간 증가하였다. E<sub>2</sub> 처리구에서는 6월에 118.6으로 증가하여 9월에 430으로 최고치였고, 10월에 30으로 낮아졌다.

2년어 1998년 11월 20일부터 1999년 10월 20일까지 FRP 원형수조에서 사육한 2년어의 대조구와 처리구의 성장에 따른 T 와 E<sub>2</sub> 의 월변화는 Fig. 19, 20과 같다.

T 농도는 대조구와 E<sub>2</sub> 처리구 모두 1998년 11월부터 이듬해 3월까지 100~200을 보이다가 대조구는 4월에 700으로 최고치를 보인 후 5월에 300, 6월에 다시 200으로 낮아진 후 7월 이후 200으로 지속하다가 10월에 20으로 낮아졌다. E<sub>2</sub> 처리구의 T농도는 처리기간 동안 계속 100~200을 보인 후 10월에 10으로 낮아졌다.

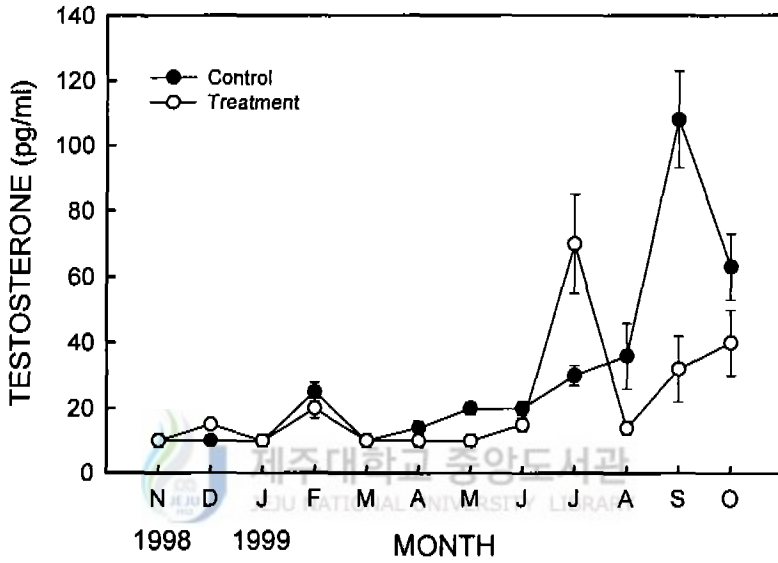


Fig. 17. Monthly changes in testosterone from the first-year class of black seabream cultured under hormone-treated and natural condition.

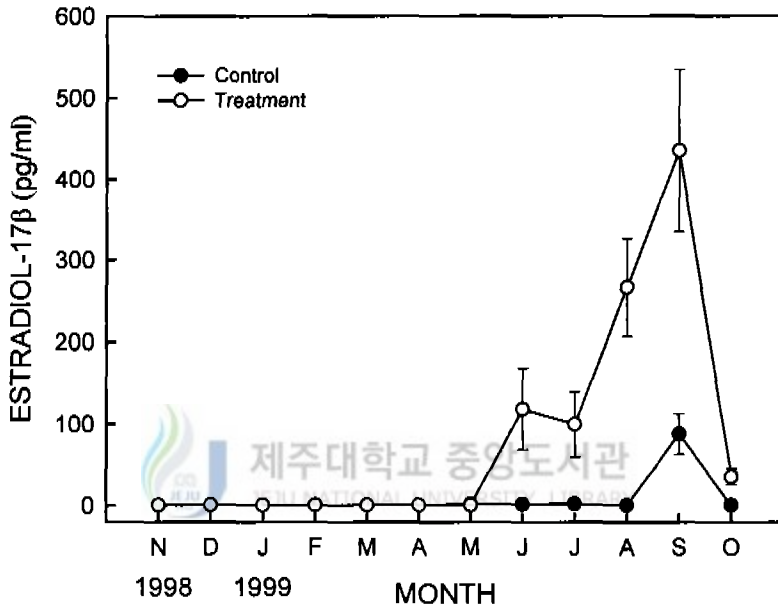


Fig. 18. Monthly changes in estradiol-17 $\beta$  from the first-year class of black seabream cultured under hormone-treated and natural condition.

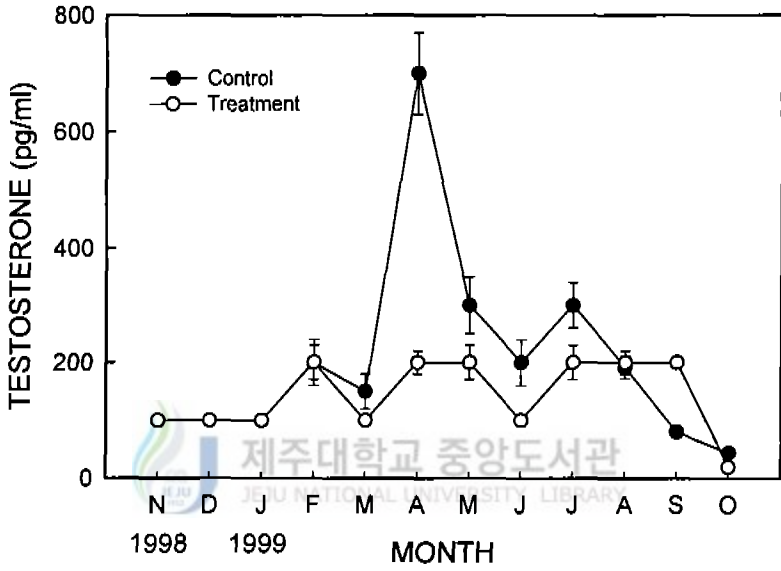


Fig. 19. Monthly changes in testosterone from the second year class of black seabream cultured under hormone treated and natural condition.

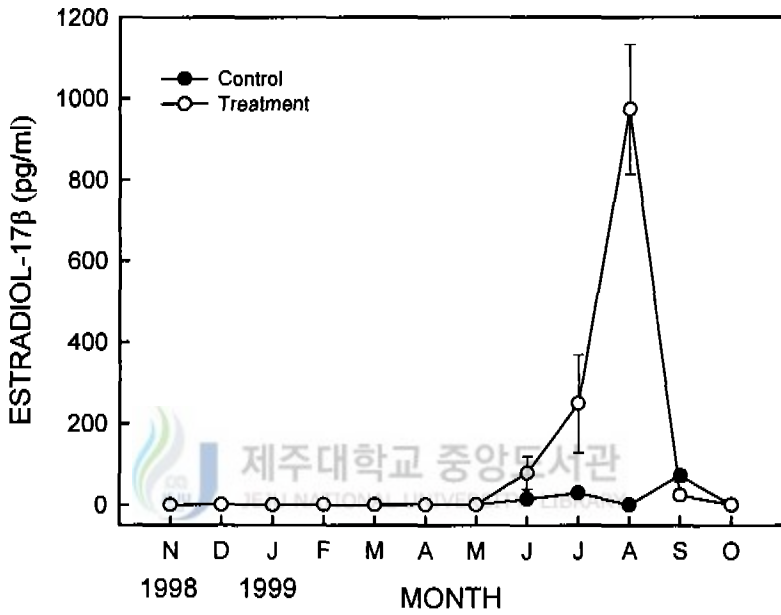


Fig. 20. Monthly changes in estradiol-17 $\beta$  from the second year class of black seabream cultured under hormone treated and natural condition.

$E_2$  농도는 두 실험구 모두 11월부터 이듬해 5월까지 10을 유지하다가,  $E_2$  처리구에서는 7월에 210으로 상승하여 8월에 980으로 최고치를 보인 후 다시 9월에 20으로 급격히 낮아졌다. 대조구에서  $E_2$  농도는 9월에 40으로 약간 상승하였으나 전 기간동안 10내외의 낮은 값을 보였다.

**3년어** 1998년 11월 20일부터 1999년 10월 20일까지 FRP 원형수조에서 사육한 3년어의 대조구와 처리구의 성장에 따른 T와  $E_2$ 의 월변화는 Fig. 21, 22와 같다.

T 농도는 대조구에서 11월에 200에서 이듬해 1월에 450, 2월에 790으로 증가하여 3월에 1270으로 최고치를 보인 후 5월에 200으로 급격히 감소한 후 10월까지 10으로 낮은 값을 보였다.  $E_2$  처리구의 T농도는 11월부터 이듬해 3월까지 100~200 범위로 낮은 값이었지만, 4월에 400으로 최고치를 보인 이후 감소하여 7월의 200을 제외하면 10월까지 10~50 범위의 낮은 값을 보였다.

$E_2$  농도는 두 실험구 모두 1998년 11월부터 이듬해 2월까지 10 이하의 낮은 값을 보이다가 대조구는 4월에 600으로 증가한 후 10월까지 10을 유지한 반면,  $E_2$  처리구에서는 3월에 1200으로 높아진 후 10월까지 700~1439로 높게 나타났다.

### 3) 생식소 발달

**1년어의 생식소 발달** 9~12월의 대조구와 처리구의 생식소는 염색인기 난모세포와 정원세포로 구성되어 있었다. 1999년 2월 대조구의 정소부분은 정소소엽내에 활발한 정자형성과정이 일어나고 있지만, 결합조직에 의해 나뉜 난소부분은 소수의 염색인기 난모세포와 주변인기 난모세포들만이 분포하고 있었다(Fig. 23A). 처리구의 정소부분은 활발한 정자형성과정이 일어나고 있었으며, 난소부분은 대조구에 비해 상대적으로 많은 수의 염색인기 난모세포와 주변인기 난모세포들이 분포하고 있었다(Fig. 23B.).

6월의 대조구 정소부분은 정원세포와 잔존 정자들만이 분포하고 있지만, 난소

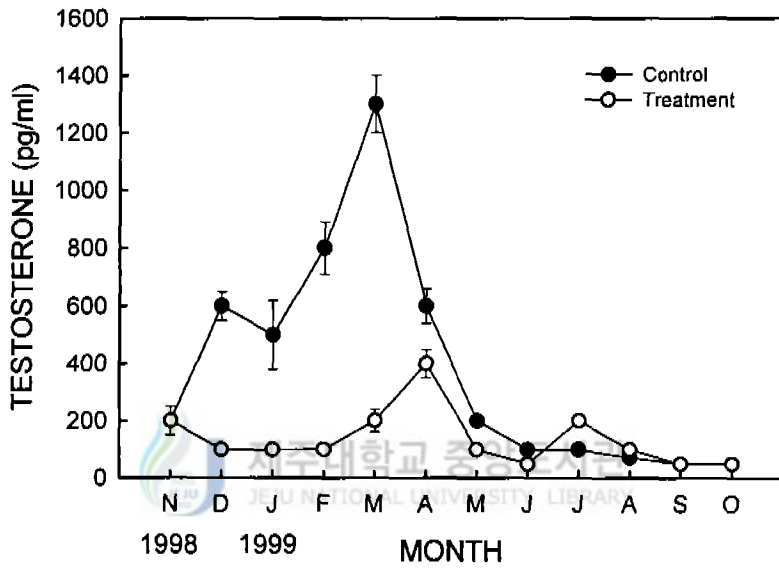


Fig. 21. Monthly changes in testosterone from the third-year class of black seabream cultured under hormone-treated and natural condition.



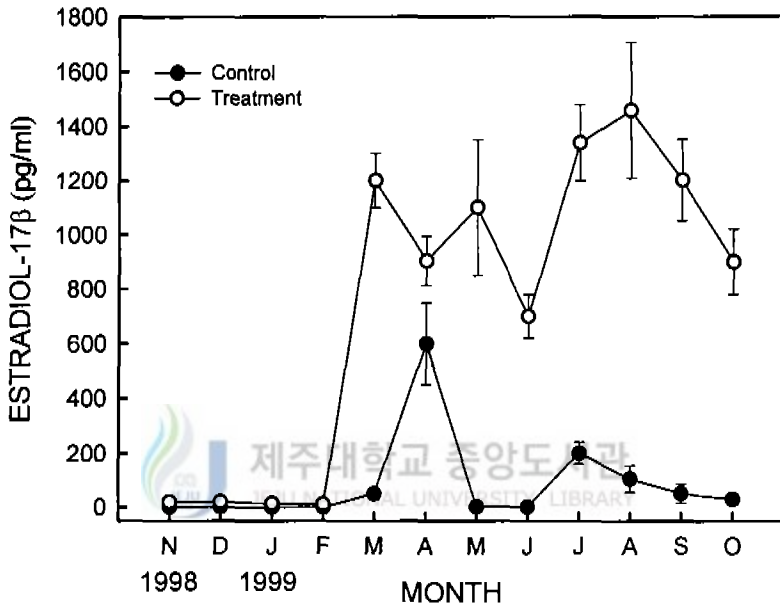


Fig. 22. Monthly changes in estradiol-17 $\beta$  from the third-year class of black seabream cultured under hormone-treated and natural condition.

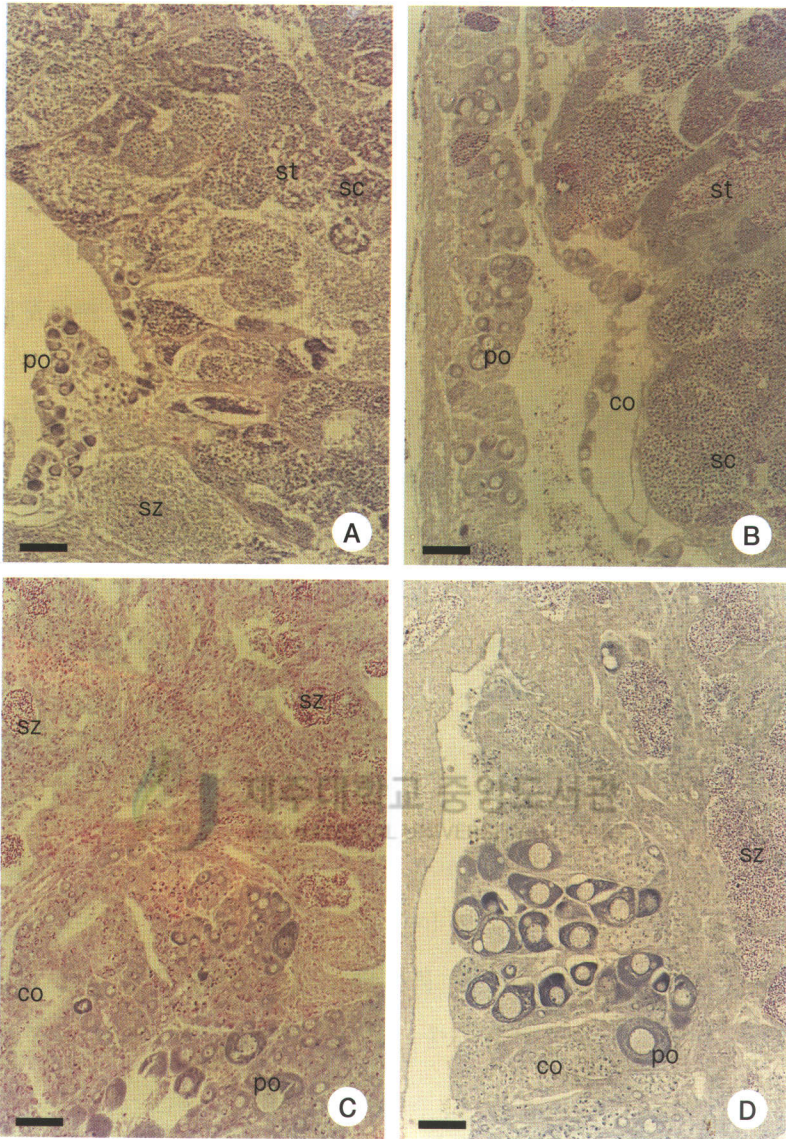


Fig. 23. Transverse sections of the gonad from the early first-year class of black seabream, *A. schlegeli*.

A: control at 9 months; B: treatment at 9 months; C: control at 13 months; D: treatment at 13 months. co: chromatin-nucleolus oocyte; po: peri-nucleolus oocyte; sc: spermatocyte; st: spermatid sz: spermatozoa. Bars: 50  $\mu$ m.

부분은 많은 염색인기 난모세포와 주변인기 난모세포들이 점점 발달하고 있었다 (Fig. 23C). 처리구 정소부분은 수정관내에 많은 정자들로 가득차 있으며, 난소부분의 주변인기 난모세포들은 점점 발달하고 있었다(Fig. 23D).

9월의 대조구 정소부분은 정자형성이 활발하게 일어나고 있었지만, 난소부분은 정소부분에 비해 상대적으로 면적이 넓어지고, 난소소엽내에는 많은 수의 주변인기 난모세포들이 분포하고 있었다(Fig. 24A). 처리구의 정소부분은 상대적으로 작아져 정원세포들만이 분포하지만, 난소부분은 점차 면적이 증가하고, 주변인기 난모세포들이 발달하고 있었다(Fig. 24B).

10월의 대조구의 정소부분은 정세관내에 정모세포, 정세포들이 분포하고 대부분은 염색인기 난모세포와 주변인기 난모세포들이 분포했다(Fig. 24C).

처리구 정소부분은 매우 위축되어 있었고, 정원세포들만이 분포하고 있었으며, 정소에 비해 상대적으로 넓은 난소부분은 염색인기 난모세포와 주변인기 난모세포들만이 분포하고 있었다(Fig. 24D).

**2년어의 생식소 발달** 2월의 대조구 정소는 정자형성이 활발하게 일어나고 있으며, 소엽내에는 정원세포, 정모세포, 정세포들이 분포하고 있었다. 난소부분은 소엽내에 주변인기 단계의 난모세포들만이 분포하고 있었다(Fig. 25A). 처리구의 정소는 정원세포, 정모세포, 정세포 단계의 활발한 정자형성과정의 일어나고 있으며, 난소부분은 대조구와 비슷한 양상의 주변인기 난모세포들이 자리잡고 있었다 (Fig. 25B).

4월의 대조구 정소는 수정관내에 많은 수의 정자들로 가득차 있었고, 정소부분은 주변인기 난모세포들이 자리잡고 있었다, 정모세포, 정세포 단계의 활발한 정자형성이 일어나고 있었으며, 난소부분은 대조구와 비슷한 양상의 주변인기 난모세포들이 자리잡고 있었다(Fig. 25C).

처리구의 정소부분 또한 정자형성이 일어나고 있었으며, 정세포 단계의 정자형성이 일어나고 있었으며, 난소부분은 대조구와 비슷한 양상의 주변인기 난모세포들이 자리잡고 있었다(Fig. 25D).



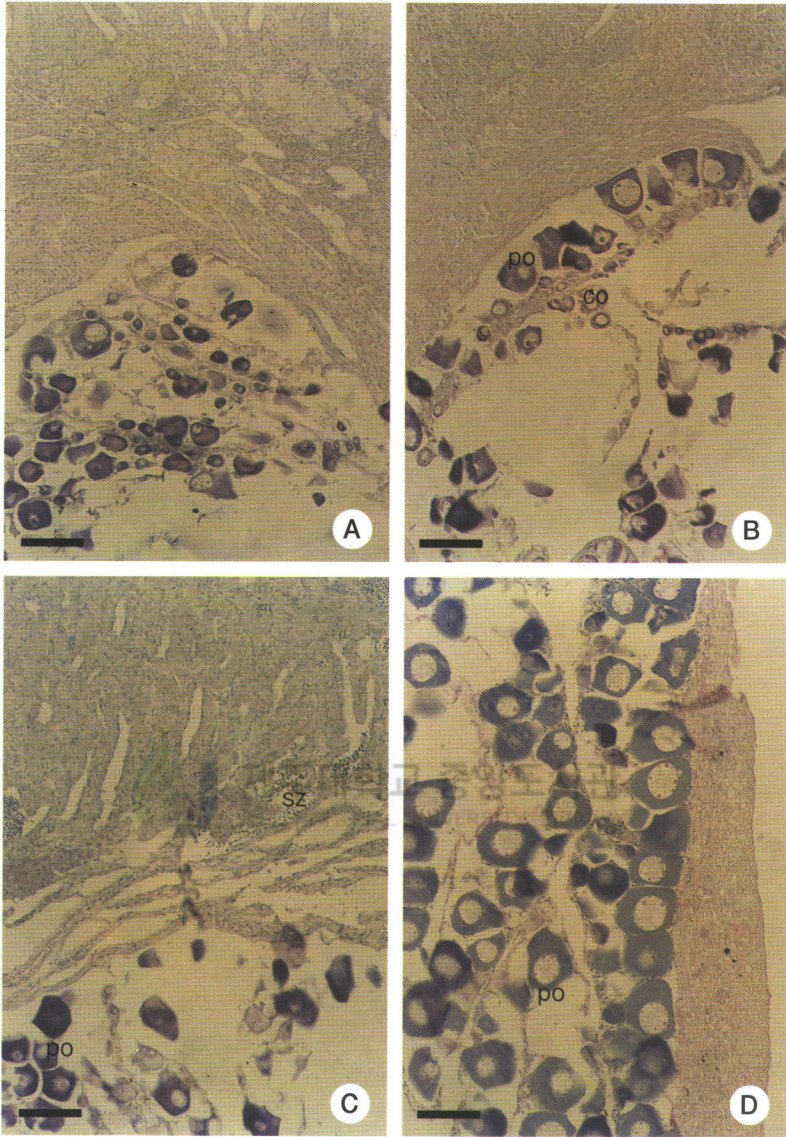


Fig. 24. Transverse sections of the gonad from the late first-year class of black seabream, *A. schlegeli*.

A: control at 16 months; B: treatment at 16 months; C: control at 17 months; D: treatment at 17 months. co: chromatin-nucleolus oocyte; po: peri-nucleolus oocyte; sc: spermatocyte; st: spermatid; sz: spermatozoa. Bars: 50  $\mu\text{m}$ .

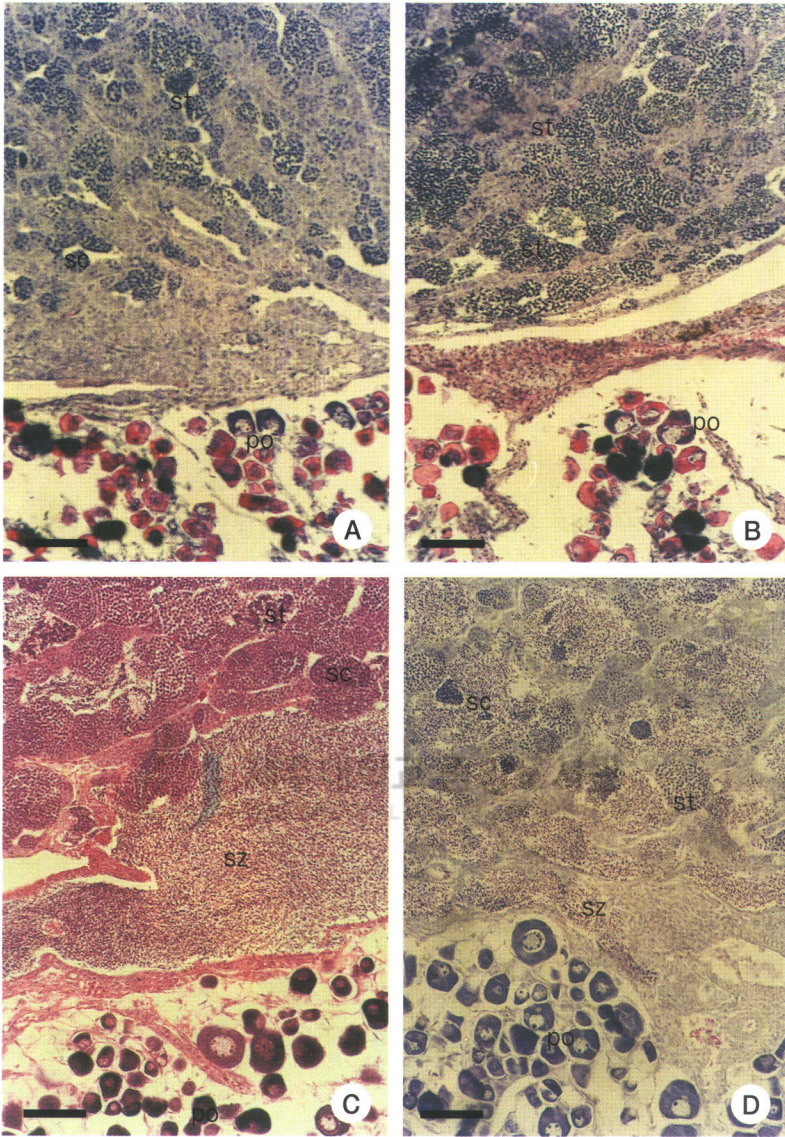


Fig. 25. Transverse sections of the gonad from the early second-year class of black seabream, *A. schlegeli*.

A: control at 21 months; B: treatment at 21 months; C: control at 32 months; D: treatment at 23 months. po: peri-nucleolus oocyte; sc: spermatocyte; st: spermatid; sz: spermatozoa. Bars 50  $\mu$ m.



8월의 생식소는 난소부분이 정소 부분보다 상대적으로 넓어지고, 정소부분 내에는 휴지기 상태를 보이는 정원세포들만이 분포하고 있었다(Fig. 26A).

처리구의 난소부분은 생식상피를 따라 난원세포, 염색인기 난모세포들이 재배치되고 있었다(Fig. 26B).

10월의 대조구 정소는 휴지기 상태를 보이고 있었으며, 난소부분은 주변인기 난모세포들만이 소엽내 산재되어 있었다(Fig. 26C). 처리구의 정소부분은 상대적으로 매우 위축되어 있었지만, 난소부분의 주변인기 난모세포들은 점점 발달하고 있었다(Fig. 26D).

**3년어의 생식소 발달** 2월의 생식소는 대조구와 처리구 사이의 발달은 매우 비슷한 양상을 나타내고 있었다. 정소부분은 활발한 정자형성이 일어나고 있으며, 난소부분은 주변인기 난모세포들만이 분포하고 있었다(Fig. 27A, B).

3월의 대조구의 정소부분은 수정관내 정자들로 가득차 있었으며, 난소부분은 주변인기 난모세포들만이 분포하고 있었다(Fig. 27C). 처리구에서 정소부분은 활발한 정자형성이 일어나 대조구와 유사한 경향이 나타나고 있었지만, 난소부분에서는 유구기 단계의 난모세포로 발달하고 있었다(Fig. 27D).

#### 4) 난·정소역의 조성비 변화

대조구와 호르몬 처리구에서의 연령별 생식소 발달단계에 따른 난·정소역의 변화는 Table 6과 같다.

실험이 시작된 1998년 11월에 1년어는 stage I에서 1999년 10월에 대조구는 stage III~IV로, E<sub>2</sub> 처리구는 stage V~VI로 변화했다. 2년어는 1998년 11월에 stage I에서 1999년 10월에 대조구는 stage III, E<sub>2</sub> 처리구는 stage VI으로 변화했다. 3년어는 1998년 11월에 stage II에서 1999년 10월에 대조구는 stage IV, E<sub>2</sub> 처리구는 stage V로 변화했다.

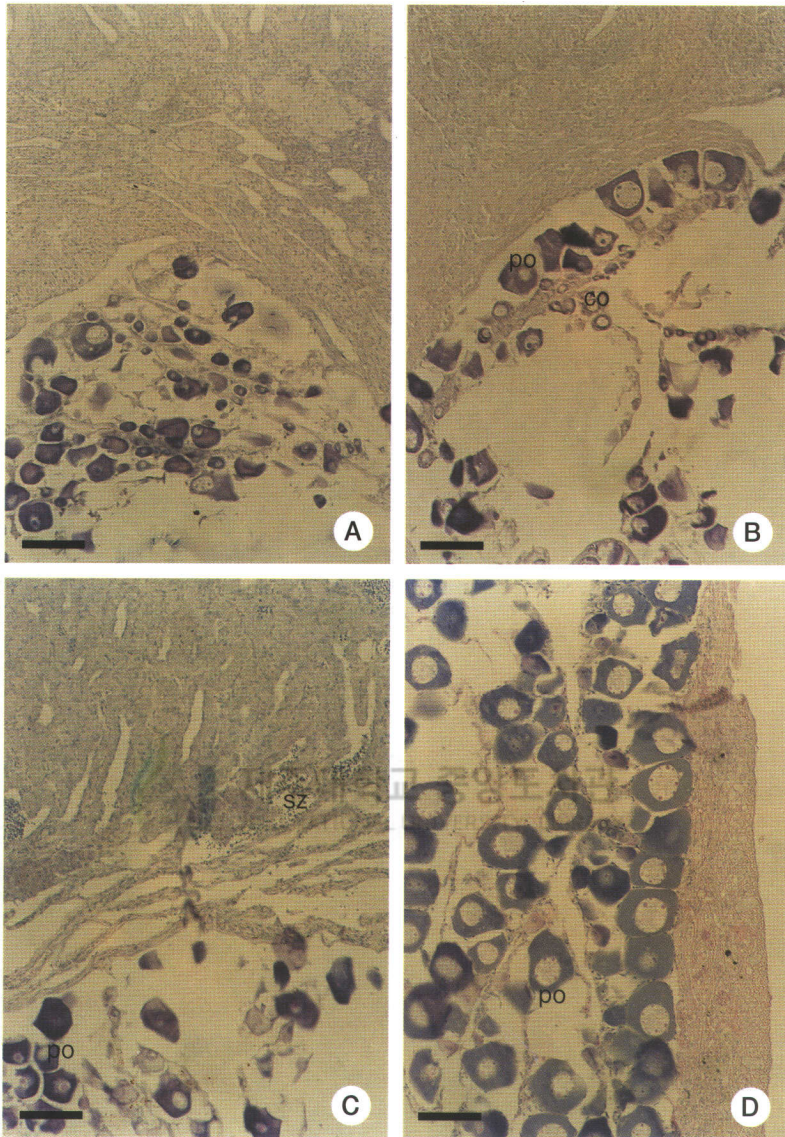


Fig. 26. Transverse sections of the gonad from the late second-year class of black seabream, *A. schlegeli*.

A: control at 25 months; B: treatment at 25 months; C: control at 25 months; D: treatment at 25 months. co: chromatin-nucleolus oocyte; po: peri-nucleolus oocyte; sz: spermatozoa. Bars 50  $\mu$ m.



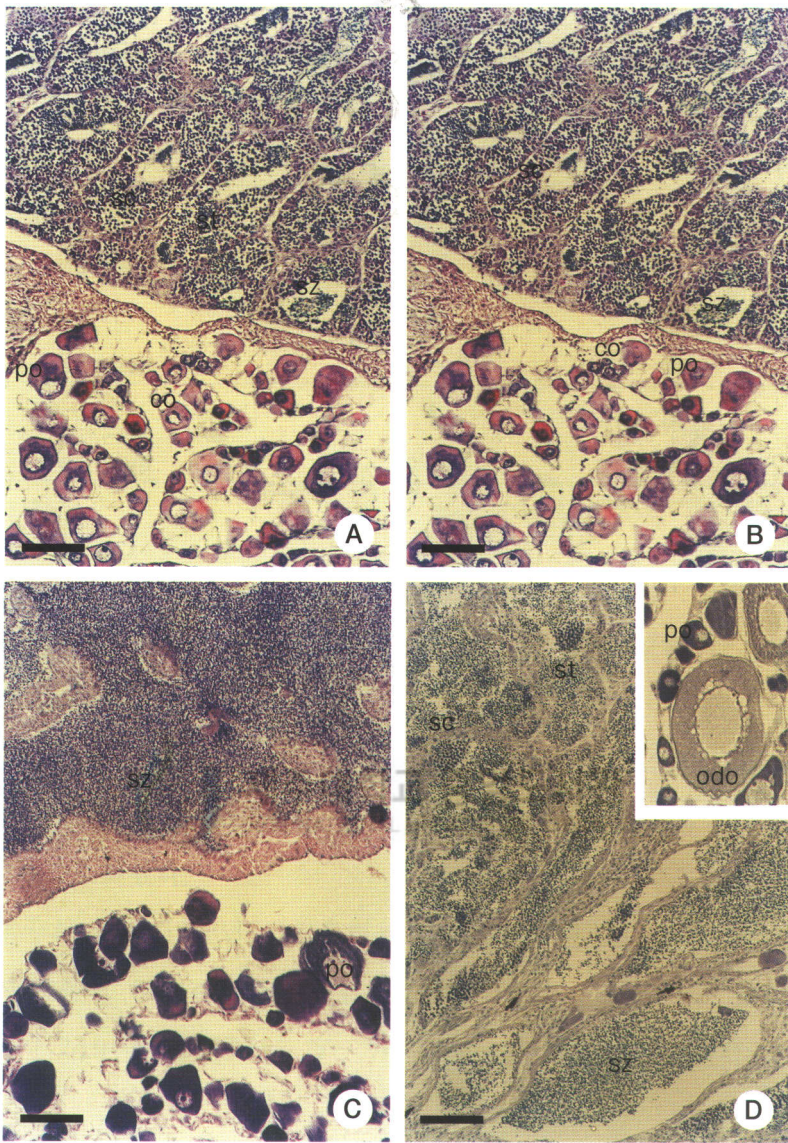


Fig. 27. Transverse sections of the gonad from the third-year class of black seabream, *A. schlegeli*.

A: control at 33 months; B: treatment at 33 months; C: control at 34 months; D: treatment at 34 months. co: chromatin-nucleolus oocyte; odo: oil-droplet oocyte; po: peri-nucleolus oocyte; sc: spermatocyte; st: spermatid; sz: spermatozoa; sz: spermatozoa. Bars: 50  $\mu$ m.



Table 6. Reproductive stage in the gonad of black seabream, *A. schlegeli* cultured under either hormone-treated or natural condition

Age	Group	Initial stage (Nov.)	Mature stage (May~Jun.)	Resting stage (Jul.~Aug.)	Recovery stage (Sep.~Oct.)
1	Control	I	II	IV	III~IV
	Treatment	I	II	IV	V~VI
2	Control	I	I	III	III
	Treatment	I	II~IV	V~VI	VI
3	Control	II	III	II~III	IV
	Treatment	II	IV	IV~V	V~VI

**1년어** 1998년 11월 20일부터 1999년 10월 20일까지 FRP 원형수조에서 E<sub>2</sub> 를 경구투여 하면서 사육한 1년어 감성돔의 성장에 따른 월별 난소부위의 변화는 Fig. 28과 같다.

대조구의 경우 1998년 11월부터 이듬해 5월까지 0.1~2.3%(Stage I), 6월에 23.4%, 8월에 75.2%(Stage V)로 급격히 상승한 후, 10월까지 57.3~38.4%(Stage IV~III)로 감소하였다.

E<sub>2</sub> 처리구의 경우 1998년 11월부터 이듬해 3월까지 0.1~2.1%(Stage I), 5월에 2.51%에서 6월에 61.8%(Stage IV), 7월에 71.4%(Stage V)로 급격히 증가하고 8~10월까지 74.9~91.4%(Stage V~VI)로 서서히 증가하였다.

**2년어** 1998년 11월 20일부터 1999년 10월 20일까지 FRP 원형수조에서 E<sub>2</sub> 를 경구투여 하면서 사육한 2년어 감성돔의 성장에 따른 월별 난소부위의 변화는 Fig. 29와 같다.

대조구의 경우 1998년 11월부터 이듬해 1월까지 12.1%(Stage II)를 유지하다가 2월에 17.6%로 약간 증가한 후 5월까지 3.6%(Stage I)로 감소한 후, 다시 7월에 36.4%(Stage III)로 급격히 증가하고 10월까지 32.1%로 서서히 감소했다.

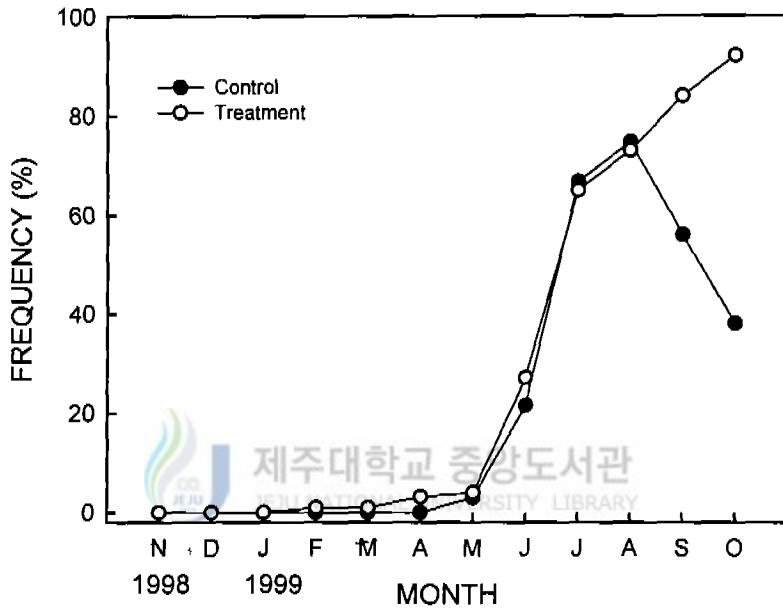


Fig. 28. Monthly variation in the proportion (%) of ovarian area in the gonad of the first-year class of black seabream cultured under hormone-treated and natural condition.

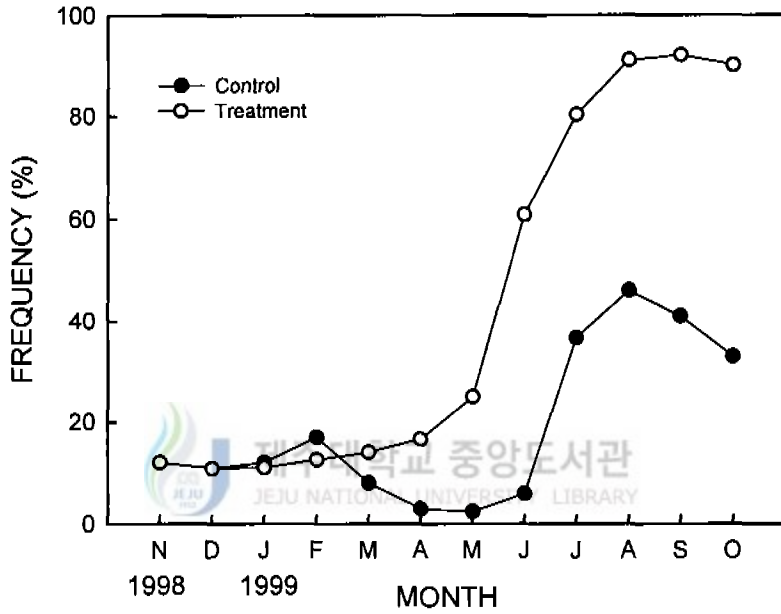


Fig. 29. Monthly variation in the proportion (%) of ovarian area in the gonad of the second-year class of black seabream cultured under hormone-treated and natural condition.

E<sub>2</sub> 처리구는 1998년 11월부터 이듬해 4월까지 10.6~15.4%(Stage II)를 유지하다가 5월에 23.1%(Stage II), 6월에 61.6%(Stage IV), 7월에 82.4%(Stage V)로 급격히 증가하고 8~10월에 84.9~91.4%(Stage V~VI)로 높게 나타났다.

**3년어** 1998년 11월 20일부터 1999년 10월 20일까지 FRP 원형수조에서 E<sub>2</sub>를 경구투여 하면서 사육한 3년어 감성돔의 성장에 따른 월별 난소부위의 변화는 Fig. 30과 같다.

대조구의 경우 1998년 11월부터 이듬해 3월까지 27.4%(Stage II)에서 9.6%(Stage I)로 서서히 낮아진 후 6월까지 47.2%(Stage III)로 높아졌다가 7월에 다시 19.8%(Stage II)로 낮아진 후, 10월에 45.3%(Stage III)까지 증가하였다.

E<sub>2</sub> 처리구의 경우 1998년 11월부터 이듬해 3월까지 29.7%(Stage II)에서 12.1%(Stage II)로 서서히 낮아진 후, 4월에 33.1%, 5월에 53.4%(Stage IV)로 높아지고 10월까지 80.8%(Stage V)까지 증가하였다.

#### 5) 성비



**1년어** 1년어의 전장에 따른 성의 출현빈도는 Fig. 31과 같다.

전장 10.5~20.2 cm 범위에서 조사한 전 개체의 37.5%는 수컷, 37.5%는 자웅동체, 25.0%는 암컷 상태였다. 수컷의 전장 출현범위는 10.5~18.5 cm, 자웅동체는 13.4~19.2 cm, 암컷은 15.2~20.2 cm였다.

**2년어** 2년어의 전장에 따른 성의 출현빈도는 Fig. 32와 같다.

전장 14.2~23.7 cm 범위에서 조사한 전 개체의 66.7%는 수컷, 16.6%는 자웅동체, 16.7%는 암컷 상태였다. 수컷의 출현 범위는 14.2~22.7 cm, 자웅동체는 16.5~23.1 cm, 암컷은 18.5~23.7 cm였다.

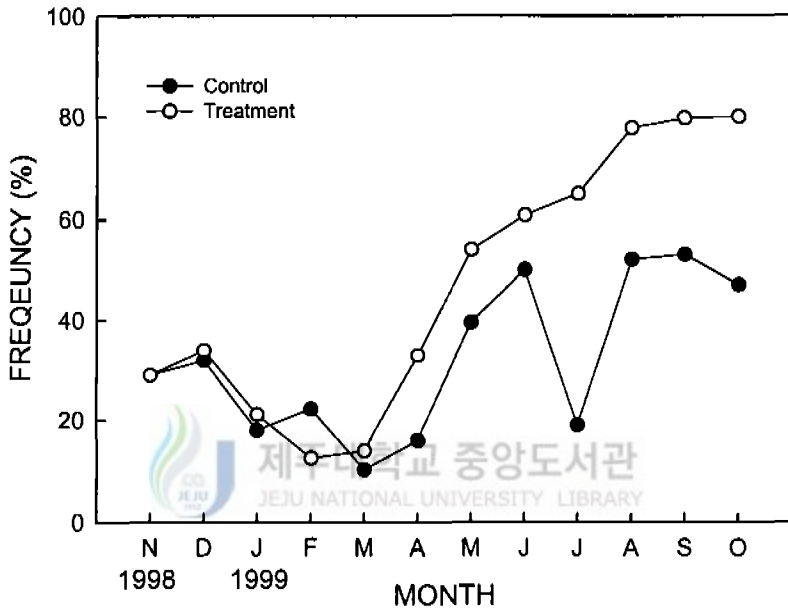


Fig. 30. Monthly variation in the proportion (%) of ovarian area in the gonad of the third-year class of black seabream cultured under hormone-treated and natural condition

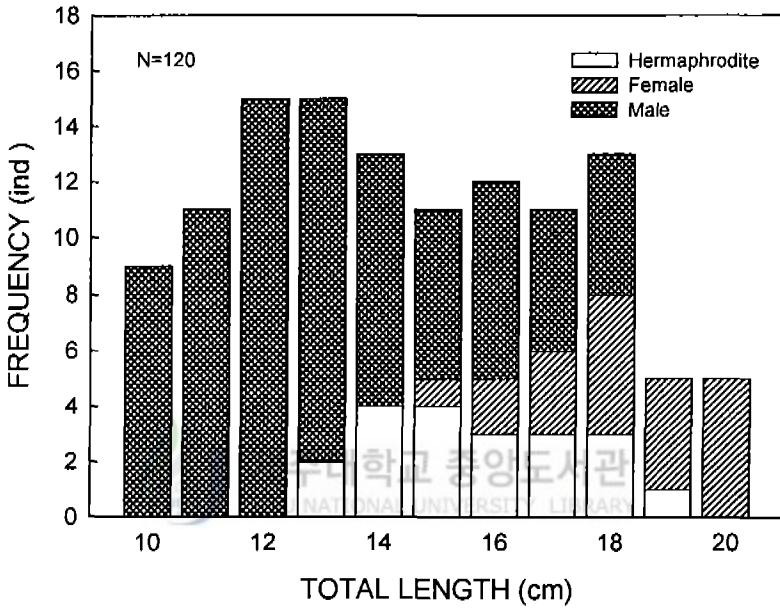


Fig. 31. Composite figure showing the relationship between sex composition and total length (TL) in the  $E_2$ -treatment group of the first-year class black seabream, *A. schlegeli*.

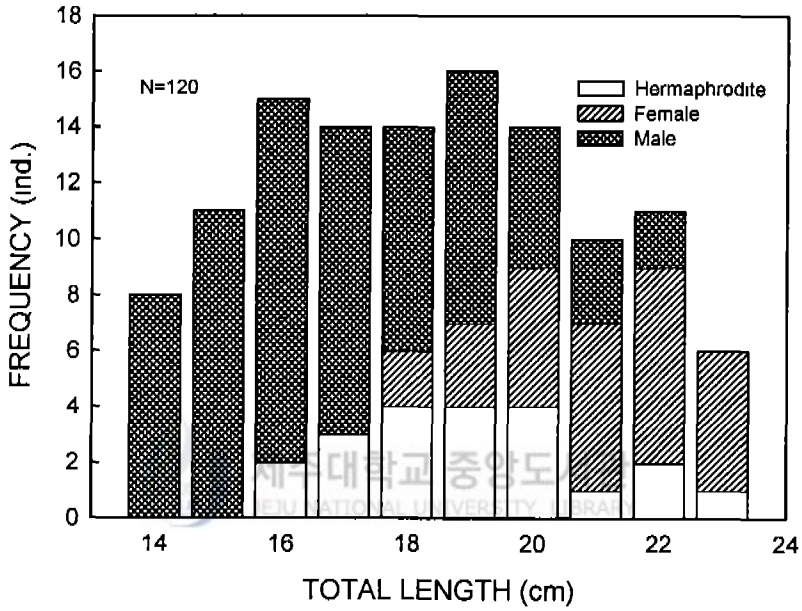


Fig. 32. Composite figure showing the relationship between sex composition and total length (TL) in the E<sub>2</sub>-treatment group of the second-year class black seabream, *A. schlegeli*.

**3년어** 3년어의 전장에 따른 성의 출현빈도는 Fig. 33과 같다.

전장 23.4~31.5 cm 범위에서 조사한 전 개체의 33.3%는 수컷, 35.0%는 자웅동체, 31.7%는 암컷 상태였다. 수컷의 출현 범위는 23.5~29.4 cm, 자웅동체는 23.5~31.2 cm, 암컷은 25.5~31.1 cm였다.

### 3. 생식주기

#### 1) 생식소의 형태와 구조

감성돔의 생식소는 복강 후면에서 척추골의 혈관 간극을 따라 1쌍이 대칭을 이루고 있으며, 성숙함에 따라 원추형의 주머니 모양으로 생식소의 전체가 길게 늘어나 뒷지느러미 끝부분까지 발달하였다. 난소 외벽에는 혈관이 분리 발달되어 있었고, 특히 성숙기에는 더욱 혈관이 뚜렷하였다. 난모세포들은 대체적으로 난소 강을 중심으로 하여 외측에서 내측으로 점진적으로 발달되며 배란기 난소 내강에는 난소 소낭에서 배란된 투명한 완숙란을 볼 수 있었다(Fig. 34A).

정소는 난소와 마찬가지로 좌우 1쌍으로 이루어져 있으며, 복강 안에서 엽상 형태로 발달하고 있었다. 정소는 정소 소엽으로 구성되어 있었으며, 각 소엽들은 정소의 중앙에 위치하고 있는 수정관으로 이어졌다. 정소는 성숙이 진행되면서 회백색에서 유백색으로 변했다(Fig. 34B).

양성생식소는 난소와 마찬가지로 좌우 1쌍으로 이루어져 있으며, 성장시기에 육안적으로 정소역과 난소역이 격막으로 구분되어 있고 복강 안에서 주머니 모양으로 발달하고 있었다(Fig. 34C).

#### 2) 생체지수의 월변화

**GSI** 실내에서 자연조건하에서 사육한 감성돔의 GSI의 월변화는 1998년 9월에 0.39로 낮은 값에서 서서히 감소하여 10월에 최저치인 0.31이었고, 1월에 0.39, 3월에 0.92로 서서히 증가하기 시작하다가 4월에 4.21로 급격히 증가하여



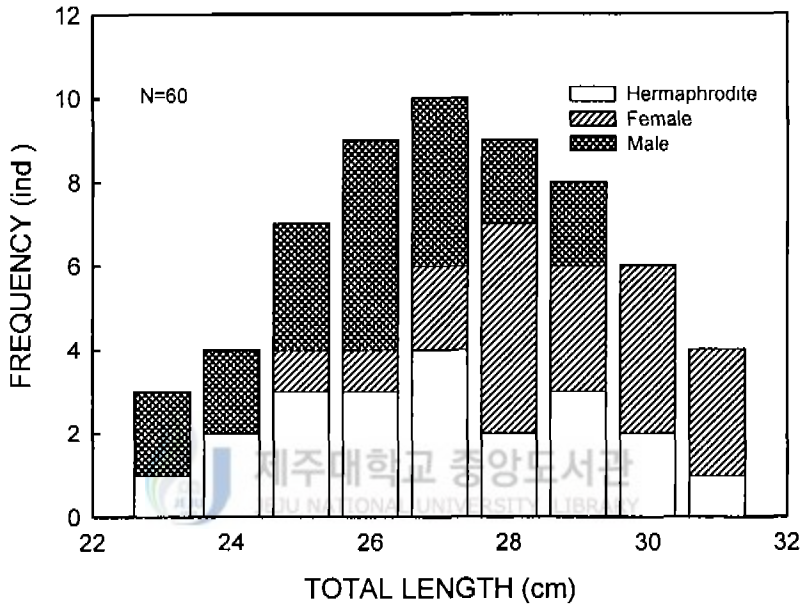


Fig. 33. Composite figure showing the relationship between sex composition and total length in the E<sub>2</sub>-treatment group of the third-year class black seabream, *A. schlegeli*.

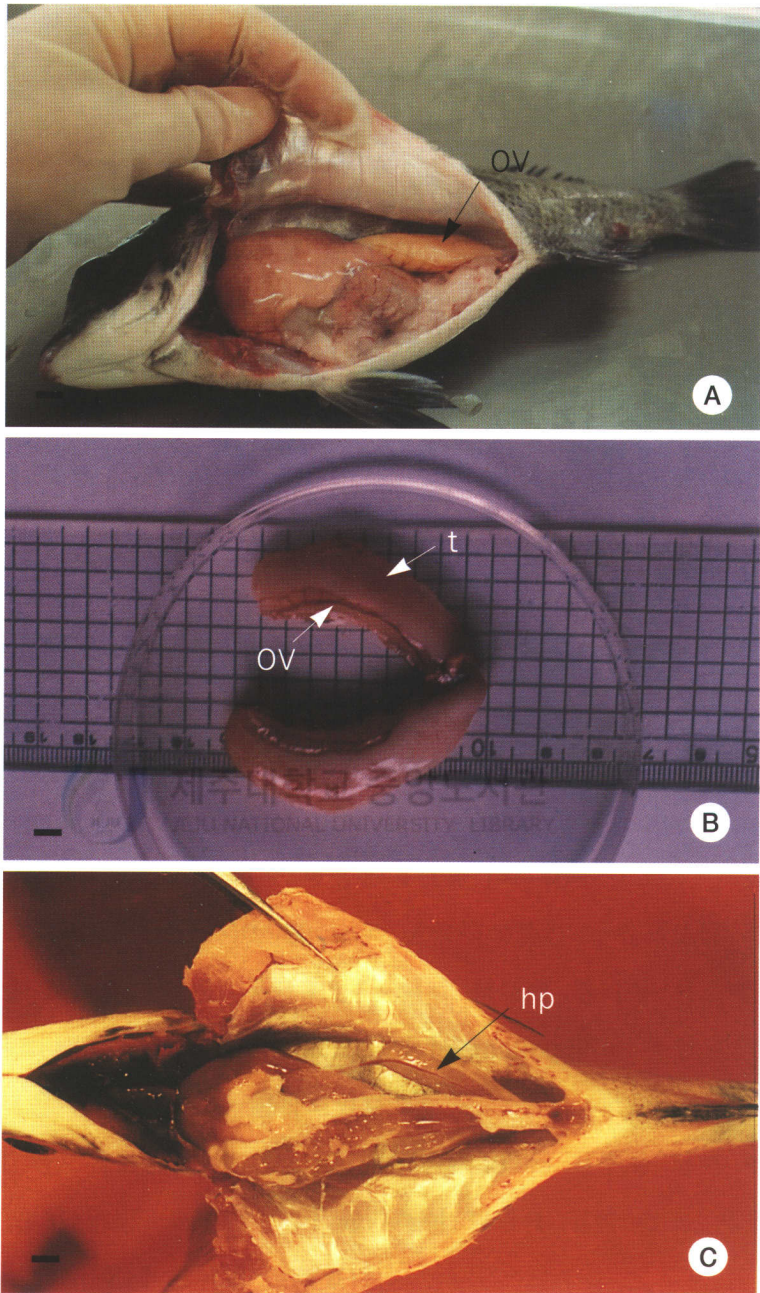


Fig. 34. Gonad Photographs of the female (A), male (B), hermaphrodite (C) in the black seabream, *A. schlegeli*. ov: ovary; hp: hermaphrodite; t: testis. Bars 0.5 cm.

5월에 12.01로 최고치에 달한 후 6월에 8.01, 7월에 1.52, 8월에 0.38로 감소하였다 (Fig. 35).

HSI HSI의 월변화를 보면 1998년 9월에 1.22를 보인 이후 급격히 증가하기 시작하여 10월에 3.23으로 최고치를 보인 후, 서서히 감소하여 1월에 2.33, 2월에 2.16, 3월에 1.82로 감소하여 생식소가 성숙발달하여 산란하는 4월부터 8월까지 1.16~1.68 범위로 낮았다(Fig. 35).

### 3) 생식세포 형성

#### (1) 난형성

난형성 과정은 난모세포의 형태학적 특징과 염색성, 난황축적 상태, 여포의 발달, 핵의 이동등 조직학적 관찰에 의해 염색인기(chromatin nucleolus), 주변인기(perinucleolus stage), 유구기(oil globule stage), 난황포기(yolk vesicle stage), 난황구기(vitellogenin stage), 성숙기(maturation stage), 완숙기(ripe stage)의 7단계로 나눌 수 있었다. 이들의 형태적 특징은 Table 7과 같다.

염색인기 난모세포는 난경 10~20  $\mu\text{m}$ 로 분열증식중인 난원세포들 사이로 세포질의 대부분을 차지하고 있는 둥근모양의 핵과 핵내에 염기성 색소에 염색된 단일 인을 가지고 있다. 이들 사이에 세포질이 haematoxylin에 농염된 인이 2~3개 나타나는 염색인기 난모세포가 관찰되었다.

주변인기의 난모세포는 직경 30~50  $\mu\text{m}$ , 핵경 10  $\mu\text{m}$  전후가 되며 이 시기에는 핵내의 인은 크기가 감소하면서 수가 증가하여 핵막에 접해 있고, 세포질은 여전히 haematoxylin에 짙게 염색된 상태였다.

난황포기의 난모세포는 세포질의 염색성이 호염기성에서 호산성으로 바뀌며, 초기 난모세포의 크기는 단경 60~80  $\mu\text{m}$ , 장경 100~120  $\mu\text{m}$ 에 이른다. 난황형성기의 난모세포는 난황축적 상태로 보아 제1차 난황구기(primary yolk globule stage)

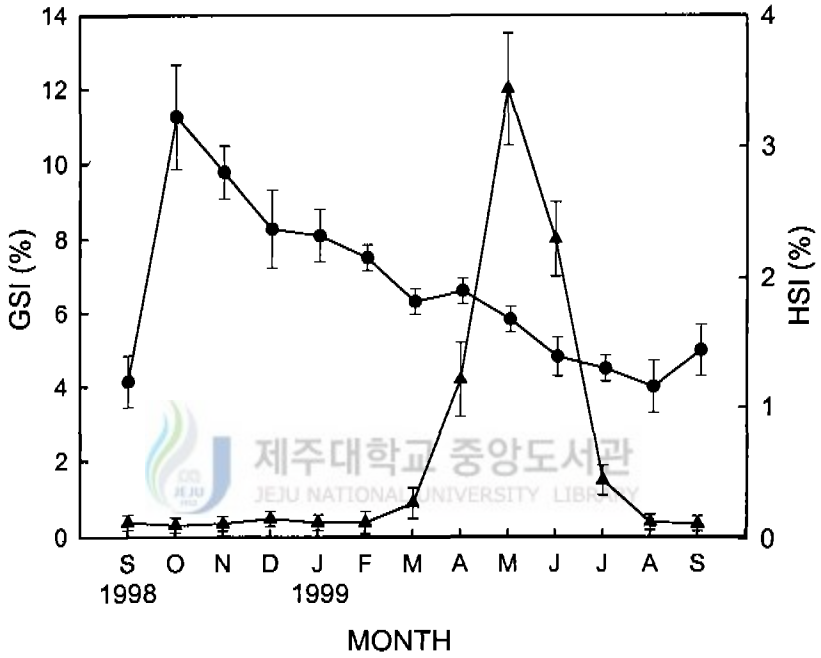


Fig. 35. Monthly changes of GSI and HSI in black seabream, *A. schlegeli* cultured under natural condition. The triangles and circles represent GSI and HSI, respectively.

Table 7. Cytological characteristics of oocytes during the oogenesis in black seabream, *A. schlegeli*

Oogenesis stage	Oocyte diameter( $\mu\text{m}$ )	Characteristics
Chromatin nucleolus stage	10~20	A conspicuous nucleolus associates with chromatin threads
Perinucleous stage	30~50	The nucleus increases in size, and multiple nucleoli were located in periphery of the nucleus The nucleus tend to locate at the center of the cytoplasm
Oil globule stage	50~100	The oil droplet began to appear in the ooplasm. As the oocyte grew, it decreased gradually in affinity with hematoxylin. A this follicle layer was first observed around the oocyte
Yolk vesicle stage	100~250	The oocytes were increased in the number and yolk vesicles scattered in peripheral cytoplasm
Vitellogenin stage	250~400	Yolk droplets are formed as a narrow ring in cytoplasm and many small oil droplets lie around the germinal vesicles
Maturation stage	400~600	Oocyte diameter increases markedly due to yolk accumulation. some large oil droplets are formed and lie around the germinal vesicle. Cytoplasm divided in two concentric zones by a ring of yolk accumulation
Ripe stage	600~750	The vacuoles begin to coalesce with the migration of the nucleus toward the animal pole. The yolk globules start to fuse from the side where the nucleus departs. Oocytes are ovulated, they gather to ovarian lumen to wait spawning

와 제2차 난황구기(secondary yolk globule stage)로 구분할 수 있었다.

제1차 난황구기의 난모세포들은 직경 350~450  $\mu\text{m}$ 로 이 시기에는 대부분의 난모세포 세포질에 난황구의 축적이 시작되면서 난경이 계속 커지고 난세포질에는 난황구들이 피질부에서 핵 가까이로 축적됐다. 계속해서 난 세포질에는 난황구들로 가득차게 되고 난경도 500~600  $\mu\text{m}$ 로 증가되는 제2차 난황구기에 들어갔다. 그리고 난모세포를 둘러싸고 있는 여포세포들이 발달하고, 방사선대는 매우 두터워져 산성 색소에 짙게 염색되어 있었다.

성숙기의 난모세포는 난경 600  $\mu\text{m}$  전후로 난황구의 축적이 완료되어 난황구가 균일하게 분포하고 있으며 핵막은 비정형으로 뚜렷하게 보이지 않고 핵이 움푹되어 있거나 핵이 동물극쪽으로 이동중에 있는 경우가 대부분이었다.

산란기의 완숙한 난모세포는 크기가 750  $\mu\text{m}$  정도에 달하며 난모세포는 원형에 가까운 형태로 핵은 동물극쪽으로 이동을 완료한 후 핵막이 소실되어 핵질과 세포질의 구분이 어려웠다.

## (2) 정자형성



정소는 한쌍의 엽상 모양으로 좌우비대칭을 이루었고 많은 정소 세관으로 구성되어 있었다. 감성돔 수컷의 생식세포 발달과정은 생식세포는 각기 별도로 존재하는 것이 아니라, 일부 생식세포들은 성숙기에 함께 나타남으로 정자형성과정을 세포크기, 핵경과 핵질의 염색성 등에 따라 정원세포기(spermatogonium stage), 제1정모세포기(primary spermatocyte stage), 제2정모세포기(secondary spermatocyte stage), 정세포기(spermatid stage), 정자기(spermatozoon stage), 완숙기(ripe stage)의 6단계로 관찰되었다.

정원세포의 직경은 5~10  $\mu\text{m}$  정도이고, 핵경은 3  $\mu\text{m}$  정도이다. 정원세포는 핵이 뚜렷하나 핵질은 염색성이 거의 없었으며, 핵내에는 뚜렷한 1개의 인을 가지고 있고, 핵에 비하여 세포질은 매우 빈약했다. 주위에는 불규칙하게 분포된 sertoli cell이 관찰되었다.

정모세포는 크기와 세포질과 핵질의 형태에 따라 제1정모세포와 제2정모세포로 나누어 관찰되었으며, 제1정모세포는 직경이  $7\ \mu\text{m}$ , 핵경은  $1\ \mu\text{m}$  정도로 포낭에 둘러싸여 있다. 정모세포는 세포질내에서 활발한 감수분열 양상을 보이며, 이에 따라 핵의 형태 및 크기는 다양하게 나타나고 있다. 제2정모세포는 제1정모세포와 유사하나 크기가  $5\sim 7\ \mu\text{m}$  정도로 제1정모세포 보다 약간 작았다.

정세포기는 정자로 변하는 시기로 핵내 염색질이 응축하는 양상을 보였다. 정세포의 직경은  $3\sim 4\ \mu\text{m}$  정도이며, 핵경은 정세포보다 작으며 핵은 세포질 한쪽에 치우쳐 있다. 정세포로부터 변태 한 정자는 소엽 내강에 밀집하여 있고, 정자의 두부가 haematoxylin에 염색되어 작은 입자 상태로 밀집되어 분포하고 있다.

#### 4) 난소내 난경 조성

산란기 전후의 개체들을 대상으로 난경 조성을 조사한 결과는 Fig. 36과 같다. 산란기 전인 3월에는  $250\ \mu\text{m}$  이하의 소형 난모세포군이 31.3%와  $350\sim 550\ \mu\text{m}$  사이의 난모세포가 68.7%로 2개의 군을 형성하고 있다. 4월에는  $350\sim 650\ \mu\text{m}$  사이의 군들이 출현하는데  $350\sim 550\ \mu\text{m}$  사이의 대형 난모세포군들이 주를 이루고 있다. 5월에는  $550\sim 750\ \mu\text{m}$  사이의 대형 난모세포군이 형성되어 있다. 6월에는  $750\ \mu\text{m}$  정도의 대형 난모세포군이 11.1%와  $100\ \mu\text{m}$  이하의 소형 난모세포군이 88.9%로 2개의 군을 형성하고 있다.

#### 5) 생식주기

월별로 연중 조사한 생체지수의 변화, 생식소내 난형성과정과 정자형성과정의 조직학적 조사, 난소내 난경 조사 등의 결과를 종합하여 이들의 생식주기를 성장기(Growing stage), 성숙기(Mature stage), 완숙 및 산란기(Ripe and Spent stage) 그리고 퇴행 및 휴지기(Degenerative and Resting stage) 등의 연속적인 주기로 나눌 수 있었다.

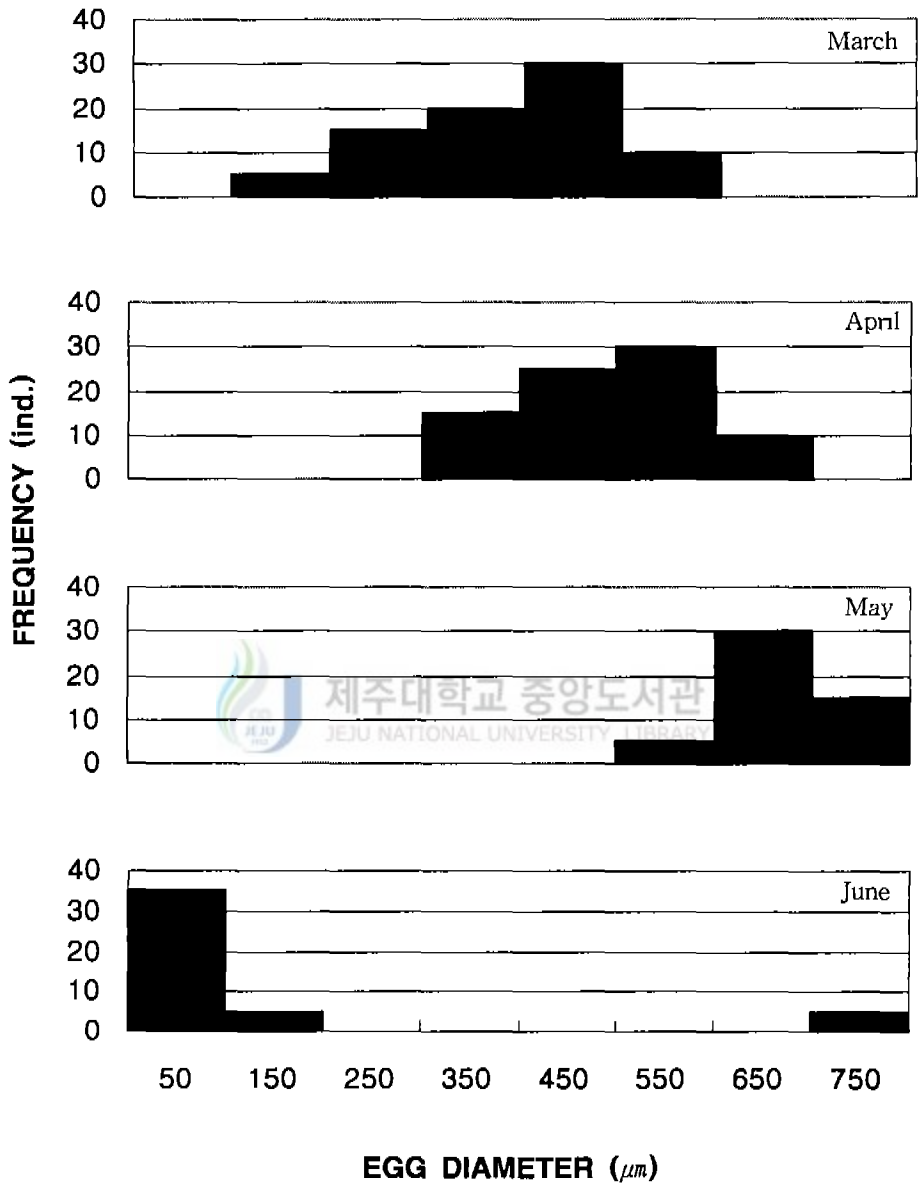


Fig. 36 Frequency distribution of egg diameter of the black seabream *A. schlegeli* from March to June.



**성장기** 2월부터 일부개체의 난소가 활성화되기 시작하여 3월에 난황포기 난모세포로 발달하는 성장기에 접어들었다. 정소부위도 정원세포에서 정모세포로 발달하는 것이 나타나고 있었다. 이들 성장기 개체들은 2~3월달에 가장 많이 나타나고 있었다. 그러나, 성장초기인 3월의 조직상은 정소부위와 난소부위가 격막으로 분리되어 양쪽 영역 모두가 성장하는 형태를 보였다.

**성숙기** 3월 중순에 생식소의 발달은 급격히 진행되어 정소 또는 난소부위중 하나의 성이 월등하게 발달하는데, 대부분의 난소에서는 다량의 난황을 축적하고 방사선대가 발달한 성숙 난모세포들로 채워져 있고 정소부위는 이미 완숙기에 접어들어 소엽내강에 정자들이 무리를 형성하고 있었다.

**완숙 및 산란기** 5월에 접어들어 난소 소낭내에는 700  $\mu\text{m}$  전후의 완숙란으로 충만되어 완숙기에 접어들고 있는데 생식공 부위에서 안쪽으로 성숙이 진행되고, 정소부위는 소엽들이 팽대되고 정자들이 무리를 형성하여 소엽내강을 대부분 차지했다.



**퇴행 및 휴지기** 7월부터는 산란후 난소내 미방출된 완숙란의 퇴행·변성이 일어나고 주변인기 난모세포들만이 위축된 난소 소낭상피에 그대로 잔존해 이듬해 2월까지 휴지기 상태로 머물고, 방정 후 정소내에는 미방정된 잔존 정자들이 소엽내강에 분포하고 소엽의 생식상피를 재배치하고 있었다.

#### 4. 수온과 광주기에 의한 생식주기 조절

##### 1) 생체지수의 월변화

1998년 9월 23일부터 1999년 8월 20일까지 순환여과사육 수조에서 수온 및 광주기 조절로 사육한 각 실험구의 3~4년어 감성돔의 성장에 따른 월별 GSI, HSI

와 CF는 Fig. 37, 38, 39와 같다.

**GSI** GSI는 대조구의 경우 1998년 9월에 0.39에서 서서히 감소하여 12월에 최저치인 0.34였고, 1월에 1.01, 2월에 1.24, 3월에 1.72로 1월부터 서서히 증가하기 시작하여 4월에 4.81로 급격히 증가하고 5월에 12.6으로 최고치에 달한 후 6월에 5.01, 7월에 1.44, 8월에 0.37로 감소하였다.

자연수온에서 광주기를 자연상태보다 2개월 앞당긴 상태로 사육한 실험 I의 경우 9월에 0.39에서 11월에 0.27로 최저치였고, 이듬해 1월에 1.23으로 회복되기 시작해서 3월에 3.17로 서서히 증가하여 4월에 7.77로 급격히 증가하여, 5월에 12.21로 최고치를 가졌다. 6월에 1.34로 급격히 감소하여 8월까지 0.25~0.51 범위를 보였다.

수온을 14℃로 가온하고 광주기를 2개월 앞당긴 상태로 사육한 실험 II의 경우 9월에 0.39로 낮은 값에서 11월에 0.44로 회복되기 시작하여 12월에는 0.75, 1월에 1.41, 2월에 4.04로 빠르게 증가한 후 3월에 8.95, 4월에 12.03으로 최고치를 가졌다. 그후, 5월에 0.72로 급격히 감소하여 8월까지 0.30~0.45 범위를 보였다.

수온은 가온하고 자연광주기로 사육한 실험 III의 경우 12월에 0.32로 최저치였고, 이듬해 1월에 1.07로 회복되기 시작하여 2월에는 2.15, 3월에 6.02로 급격히 증가하여 4월에 8.23, 5월에 9.85로 상승한 후, 6월에 0.64로 급격히 감소하여 8월까지 0.35를 보였다.

**HSI** HSI의 월변화를 보면 대조구의 경우, 1998년 9월에 1.2에서 증가하기 시작하여 11월에 2.81로 최고치를 가진 후, 1월에 2.33, 2월에 2.16을 나타냈다. 3월에 1.87로 감소하여 8월까지 1.02~1.59로 낮게 나타났다

실험 I의 경우 9월에 1.2에서 증가하기 시작하여 11월에 2.46, 12월에는 2.89로 증가하여 1999년 1월에 최고치인 3.31에 달하였다. 이후 서서히 감소하여 4월에

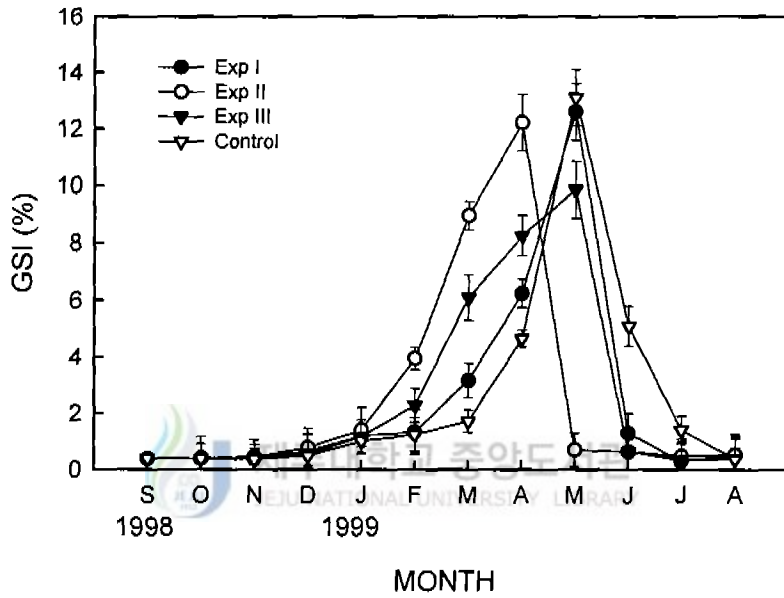


Fig. 37. Comparison of monthly changes in gonadosomatic index (GSI) of black seabream, *A. schlegelii* during the experimental period.

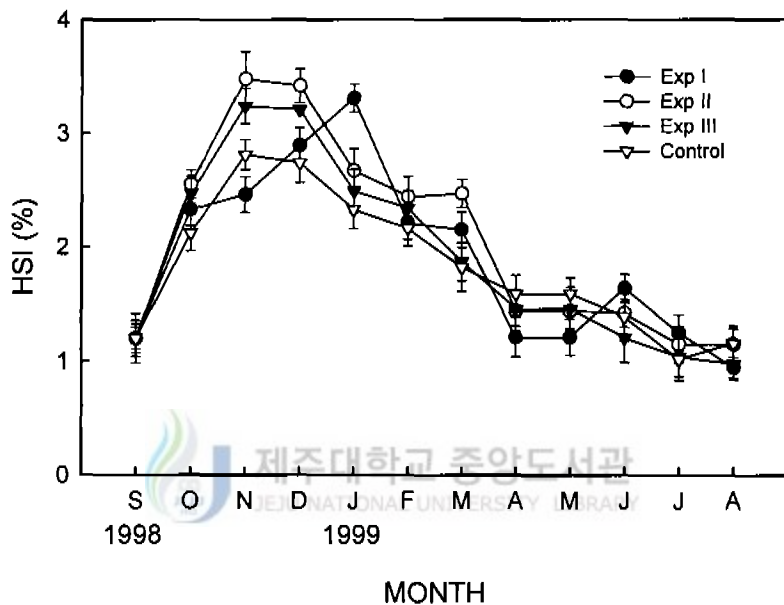


Fig 38 Comparison of monthly changes in hepatosomatic index (HSI) of black seabrem, *A. schlegeli* during the experimental period

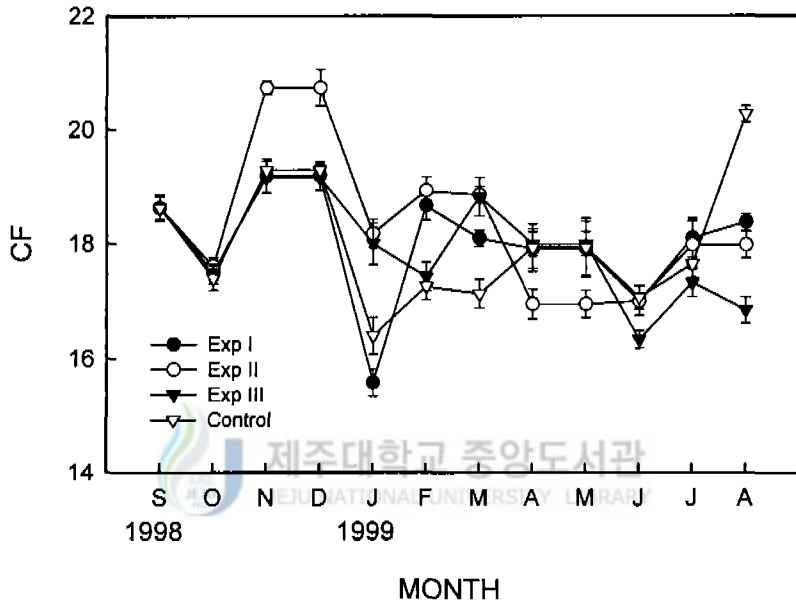


Fig. 39. Comparison of monthly changes in pondition factor (CF) of black seabream, *A. schlegeli* during the experimantal period.

1.21로 낮아진 후 8월까지 0.95~1.64 범위를 보였다.

실험Ⅱ의 경우 9월에 1.2에서 조금씩 증가하기 시작하여 11월에 3.48, 12월에는 3.40으로 상승한 후 서서히 감소하기 시작하여 1월에 2.67, 2월에 2.44로 4월에 1.44로 감소한 후 8월까지 1.15~1.44 범위를 보였다.

실험Ⅲ의 경우 9월에 1.2에서 조금씩 증가하기 시작하여 11월에 3.24, 12월에는 3.21로 상승한 후 서서히 감소하여 1월에 2.49, 2월에 2.34로 3월에 1.84로 감소한 후 8월까지 0.98~1.46 범위를 보였다.

모든 실험구의 HSI 최고치는 GSI 최고치 보다 5~6개월 전에 높은 값을 보여 GSI와 역의 상관관계를 보였다.

CF CF의 월변화를 보면 대조구는 1998년 9월에 18.62에서 서서히 증가해, 11월과 12월에 19.28로 높은 값을 나타내다가 1999년 1월에 16.39, 3월에 17.13에서 17~18 범위를 7월까지 보이다가 8월에 20.2로 다시 증가하였다.

실험Ⅰ의 경우 1998년 9월에 18.62, 11월과 12월에 19.18를 나타내다가 1999년 1월에 15.58로 낮아진 후, 2월에 18.63으로 증가해 3월에 18.03으로 서서히 감소하여 8월까지 17~18 범위를 보였다.

실험Ⅱ의 경우 1998년 9월에 18.62에서 11월과 12월에 20.73로 높은 값을 나타내다가 1999년 1월에 18.17로 낮아진 후 5월에 16.95로 최소치를 보인 다음 다시 8월까지 17~18 범위를 보였다.

실험Ⅲ의 경우 1998년 9월에 18.62에서 11월과 12월에 19.15로 높은 값을 나타내다가 1999년 1월에 18.02로 낮아진 후 6월에 16.33로 최소치를 보인 다음 다시 8월까지 17 전후의 범위를 보였다.

결과적으로 감성돔의 경우 연중 CF의 변화는 산란기보다는 섭이활동이 활발한 가을철에 19~20의 높은 값을 나타냈고, 산란후기인 6월에 16.33으로 최소치를 보였다

## 2) 생식세포 형성

### (1) 난형성

대조구 8월의 생식소는 퇴행수축기로 산출되지 않은 알이 퇴화 흡수되고 생식소내에서 재배치되는 모양을 보였고, 9월~12월까지 휴지기에 들어가 염색인기 난모세포와 정원세포로 구성되었다(Fig. 40A). 1999년 2월에 50  $\mu\text{m}$  전후의 주변인기 난모세포로 서서히 성장하기 시작하였다.

실험구 I ~ III의 생식소는 11월에는 40~100  $\mu\text{m}$ 의 주변인기 난모세포로 성장하기 시작하여, 12월과 1월에는 200~350  $\mu\text{m}$ 인 난황포기 난모세포로 성장하였다(Fig. 40B). 특히 2월의 실험구 II의 생식소는 정액이 분비되기 시작했으며, 난소부는 핵막이 거치화되고 난황구의 축적이 충실해지고 이들 사이에 미세한 유구가 나타나며 여포층의 세포가 발달된 500  $\mu\text{m}$  전후인 성숙란이 분포하였다(Fig. 40C). 3월의 경우 실험구 I ~ III의 모든 수컷에서 정액이 분비되었으나 난소는 실험 II의 경우만 700  $\mu\text{m}$  전후의 완숙란이 출현하여 산란시기가 임박했음을 알 수 있었고(Fig. 40D), 4월 6일에 첫 산란이 일어났다.



### (2) 정자형성

9월의 생식소는 퇴행수축기로 방정되지 않은 정자가 퇴화 흡수되고 생식소내에서 재배치되었고, 10~11월까지 휴지기에 들어가 퇴화 흡수되지 않은 정자들이 정원세포들로 구성된 소엽내에 남아 있었다. 이들 소엽내에 정원세포의 분열은 일어나지 않아 정자형성이 활성화되지 못했다(Fig. 41A). 1999년 1월에 다수의 정소 소엽에서는 소엽 상피조직으로부터 정원세포들이 활발하게 분열증식하고 일부는 정모세포와 정세포로 발달하였다(Fig. 41B).

2월에는 정모세포, 정세포가 대부분 분포하고 생식공과 인접한 부위는 정자가 가득 차 있었다(Fig. 41. C). 이 정세포들은 haematoxylin에 농염되었고 4월에는 정액이 분비되기 시작했다(Fig. 41D).

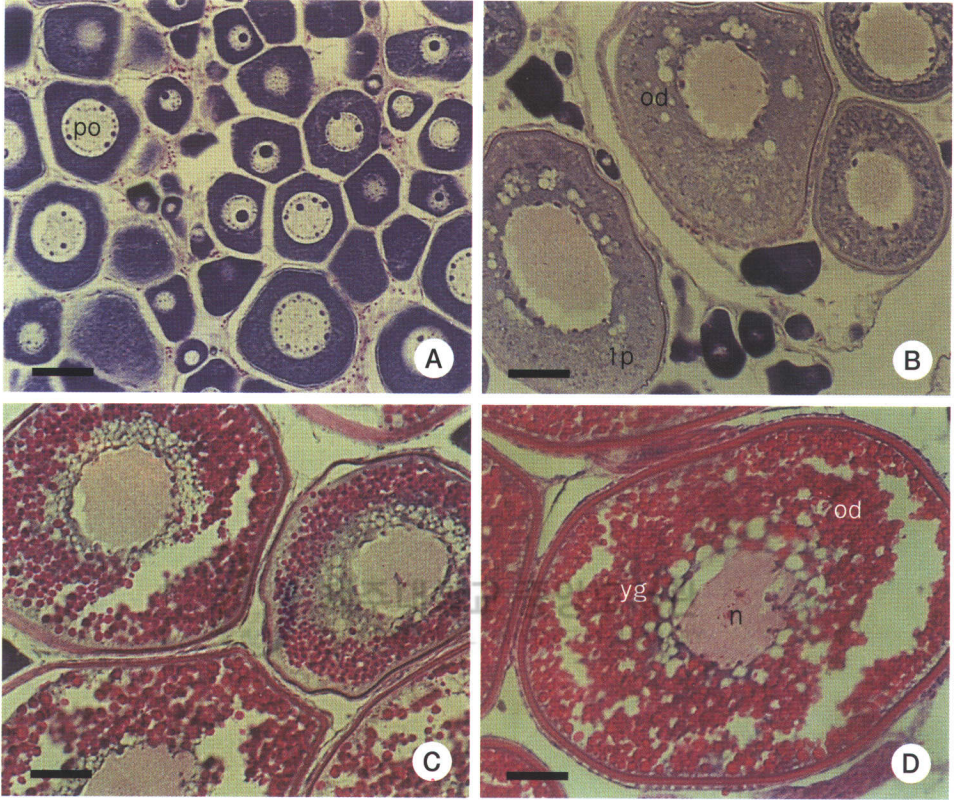


Fig. 40. Oogenesis in black seabream, *A. schlegeli*.

A: early growing oocyte, chromatin nucleolus stage and perinucleolus stage; B: growing stage, yolk vesicle and oil globule stage; C: mature stage and yolk globule stage; D: ripe stage. lp: late peri-nucleolus oocyte; od: oil-droplet; n: nucleus; po: peri-nucleolus oocyte; yg: yolk globule. Bars: 100  $\mu$ m.



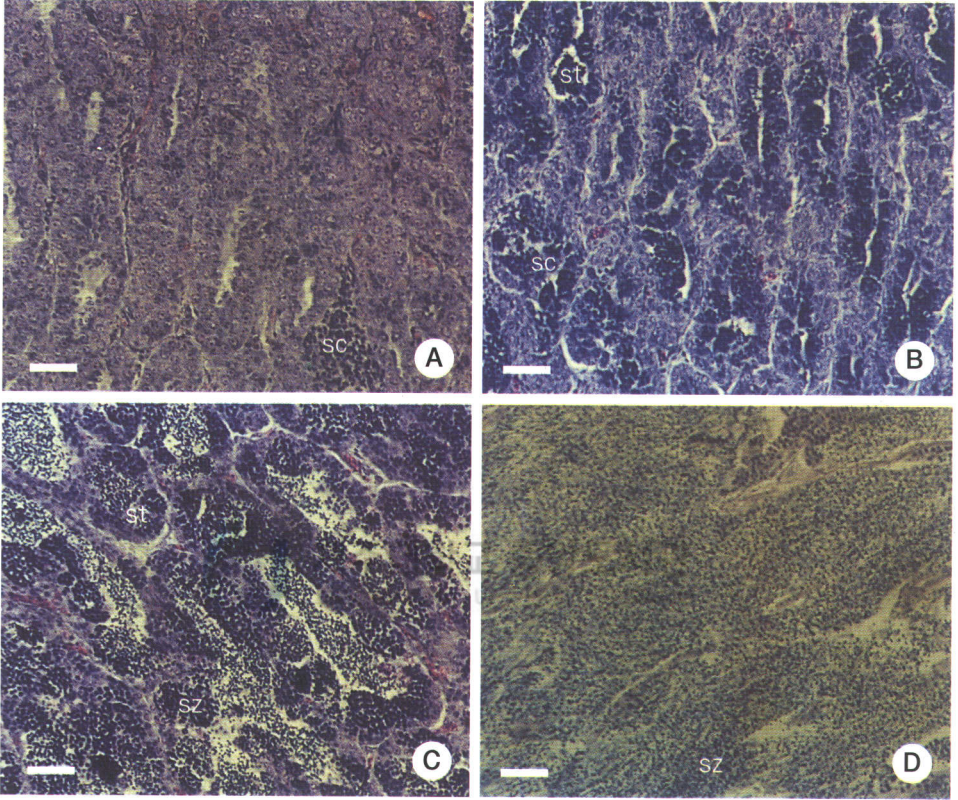


Fig. 41. Spermatogenesis in black seabream, *A. schlegelii*.

A: early growing stage; B: growing stage; C: mature stage; D: ripe stage. sc: spermatocyte; st: spermatid; sz: spermatozoa. Bars 50  $\mu$ m.

실험구 I ~ III의 생식소는 1월에 정세포무리가 분포하고, 특히 2월의 실험구 II의 수컷 생식소는 정액이 분비되기 시작했다. 3월의 경우 실험구 I ~ III의 모든 수컷에서 정액이 분비되었다.

### 3) 간 조직상

간의 조직학적 변화는 Fig. 42와 같다. 산란 후 암컷의 간 조직상은 위축된 간 세포들로 구성된 간 소엽들이 치밀하게 배열되어 있다(Fig. 42A). 11월~1월에 걸쳐 간 조직에는 일부 지방구 축적이 되기 시작하고, 간세포들은 세포질이 커지고 조밀해지기 시작하였다(Fig. 42B). 2월~3월에는 간 조직에 작은 지방구의 축적이 일어나고, 간세포의 크기가 증가하였다(Fig. 42C, D). 산란기인 5월에는 개체에 따라 다양한 간 조직상이 관찰되고 있는데 대부분 간 세포질이 다소 위축되고 있으며 핵의 크기도 상대적으로 작아지고 있었다. 그러나 여전히 세포질내에는 공포상의 흔적들이 존재하고 있었다(Fig. 42E, F).

### 4) 성스테로이드호르몬 농도의 변화

사육기간중 수온과 광주기 조절에 의한 각 실험구별 성스테로이드호르몬 농도의 변화는 Fig. 43, 44와 같다.

#### (1) Testosterone (T)

대조구의 경우 1998년 9월에 100 pg/ml에서 12월에 700 pg/ml로 증가하고 3월에 최고치인 1000 pg/ml 였고, 4월에 600 pg/ml로 낮아진 이후 서서히 감소하여 8월에 최저치인 100 pg/ml로 낮아졌다.

실험 I의 경우 1998년 9월에 100 pg/ml에서 12월까지 500pg/ml로 서서히 증가해 1999년 2, 3월에 각각 1000, 1200 pg/ml로 증가한 후, 4월에 최고치 1300 pg/ml 였고, 이후 5월과 6월에 급격히 700, 100 pg/ml로 낮아진 이후 8월까지 100~500 pg/ml 범위였다



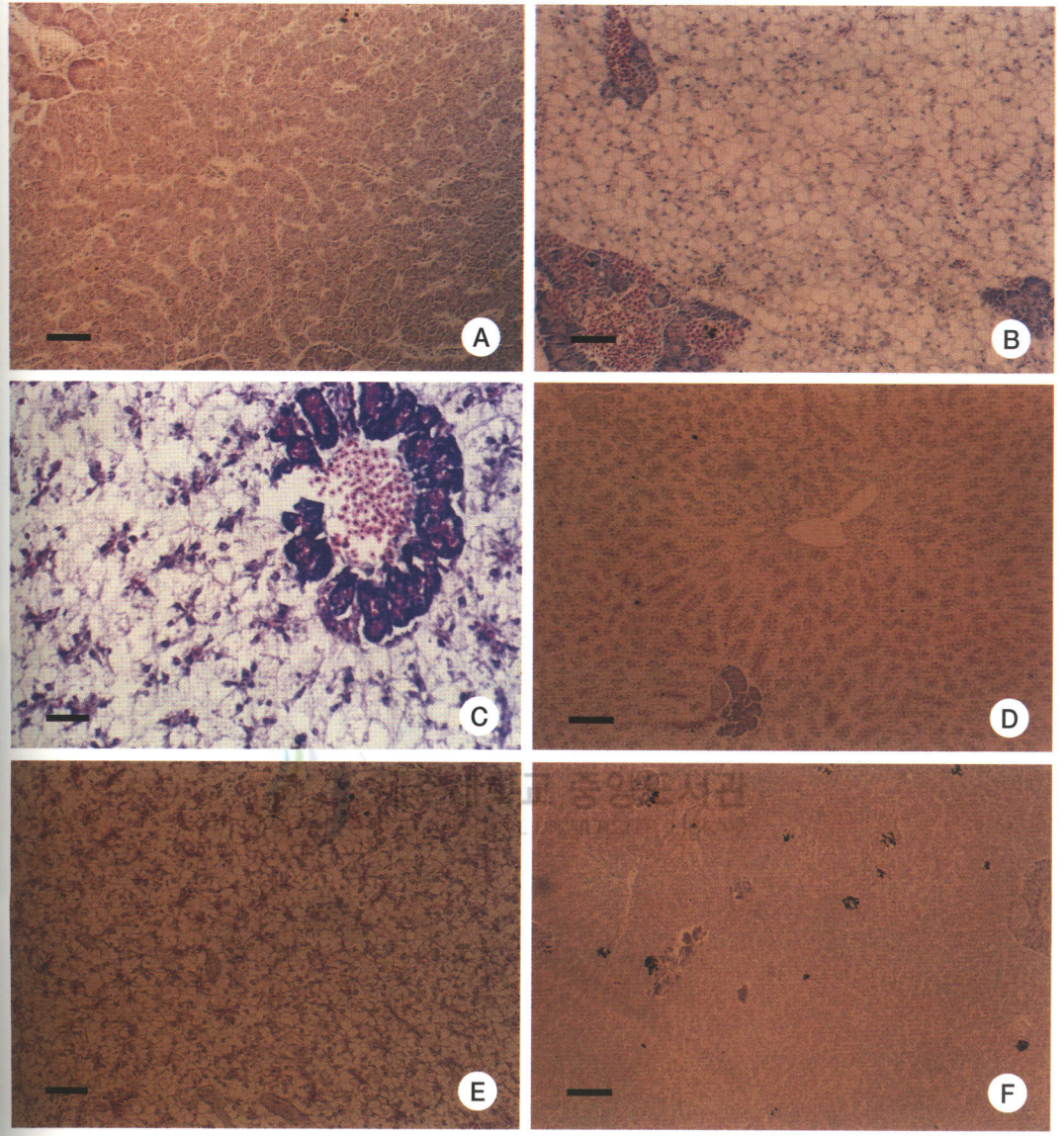


Fig. 42. Seasonal changes of the liver tissue in black seabream, *A. schlegelii*  
 A: lipid droplets almost disappeared; B: lipid droplets began to be accumulated (November~January); C: accumulated lipid droplets were consumed (February and March); D: small lipid droplets appeared (February and March); E: large lipid droplets appeared (May, spawning season); F: lipid droplets almost disappeared (May, spawning season). Bars: 100  $\mu$ m.

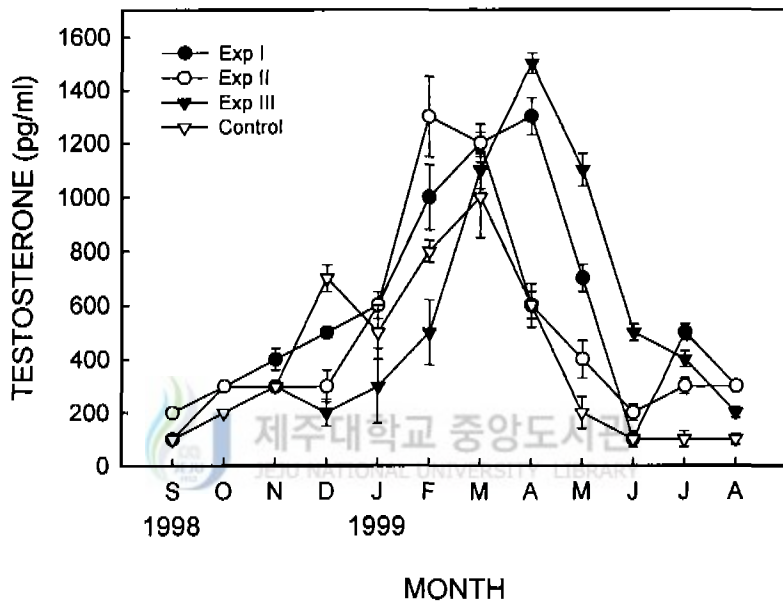


Fig. 43. Monthly changes of plasma testosterone levels in all experimental groups of black seabream, *A. schlegeli*.

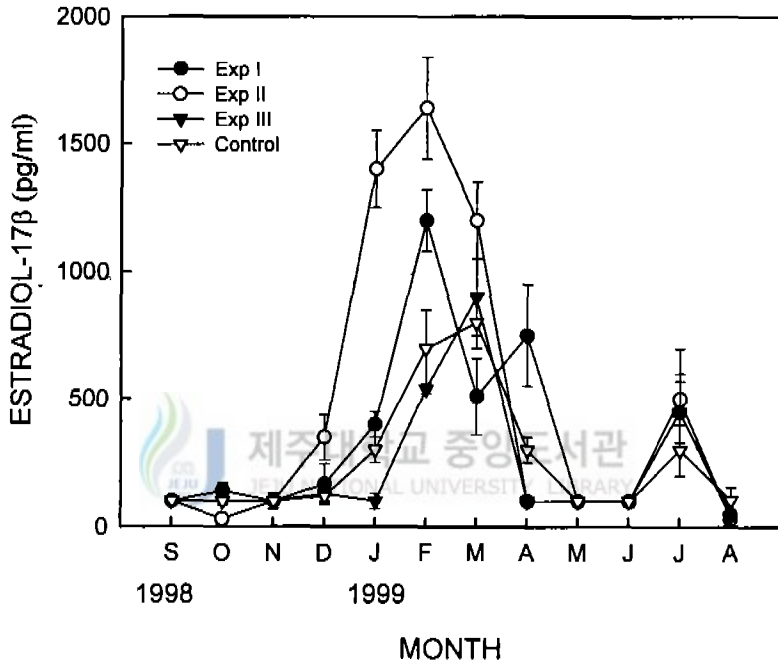


Fig. 44. Monthly changes of plasma estradiol-17 $\beta$  levels in all experimental groups of black seabream, *A. schlegeli*.

실험Ⅱ의 경우 1998년 9월에 200 pg/ml 였고, 1999년 1월에 600 pg/ml로 증가하고 2월에 1300 pg/ml로 최고치를 보인 이후 4월에 급격히 600 pg/ml로 낮아진 후 8월까지 200~400 pg/ml 범위를 나타냈다.

실험Ⅲ의 경우 1998년 9월에 100 pg/ml에서 1999년 2월에 500 pg/ml로 상승하고 4월에 최고치 1500 pg/ml 이었고, 6월에 급격히 500 pg/ml로 낮아진 이후 8월까지 200~400 pg/ml 범위를 보였다.

## (2) Estradiol-17 $\beta$ (E<sub>2</sub>)

대조구의 경우 1998년 9월에 100 pg/ml에서 이듬해 1월에 300 pg/ml로 증가하고 2월에 최고치 750 pg/ml 이었고, 4월에 급격히 200 pg/ml로 낮아진 이후 낮은 값을 나타내다가 7월에 340 pg/ml로 약간 증가했다.

실험Ⅰ의 경우 1998년 9월에 100 pg/ml에서 2월에 최고치인 1260 pg/ml로 증가하였고, 5월에 100 pg/ml로 낮아진 이후 낮은 값을 나타내다가 7월에 다시 증가하여 420 pg/ml로 높아졌다.

실험Ⅱ의 경우 1998년 10월에 100 pg/ml로 최저치를 보인 후 이듬해 1월에 1400 pg/ml로 급격히 증가한 후 2월에 최고치인 1640 pg/ml로 증가하였고, 4월에 급격히 100 pg/ml로 낮아진 이후 낮은 값을 나타내다가 7월에 증가하여 520 pg/ml로 높아졌다.

실험Ⅲ의 경우 1998년 9월에 100 pg/ml로 이듬해 1월까지 낮은 값을 보이다가 3월에 급격히 증가하여 830 pg/ml로 연중 최고치에 달하였고, 4월에 다시 100 pg/ml로 감소한 후 낮은 값을 나타내다가 7월에 다시 증가하여 480 pg/ml였다.

## 5) 산란시기 및 양의 변화

수온과 광주기 조절에 의한 각 실험구별 산란시기와 양의 변화를 Fig. 45, 46, 47에 나타냈다.

대조구 대조구의 산란은 Fig. 45와 같다. 첫 산란은 수온이 16.9℃로 상승한 5월 12일에 시작되었다. 평균 난경은 0.88 mm, 단위중량당 알수는 2,576립/g, 부화

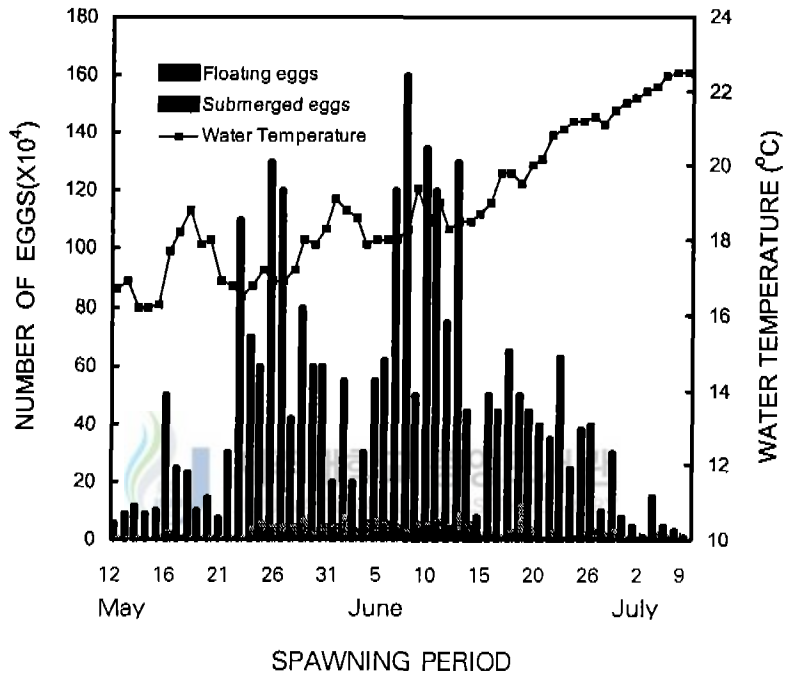


Fig. 45 Number of floating and submerged eggs recorded from control during the spawning period

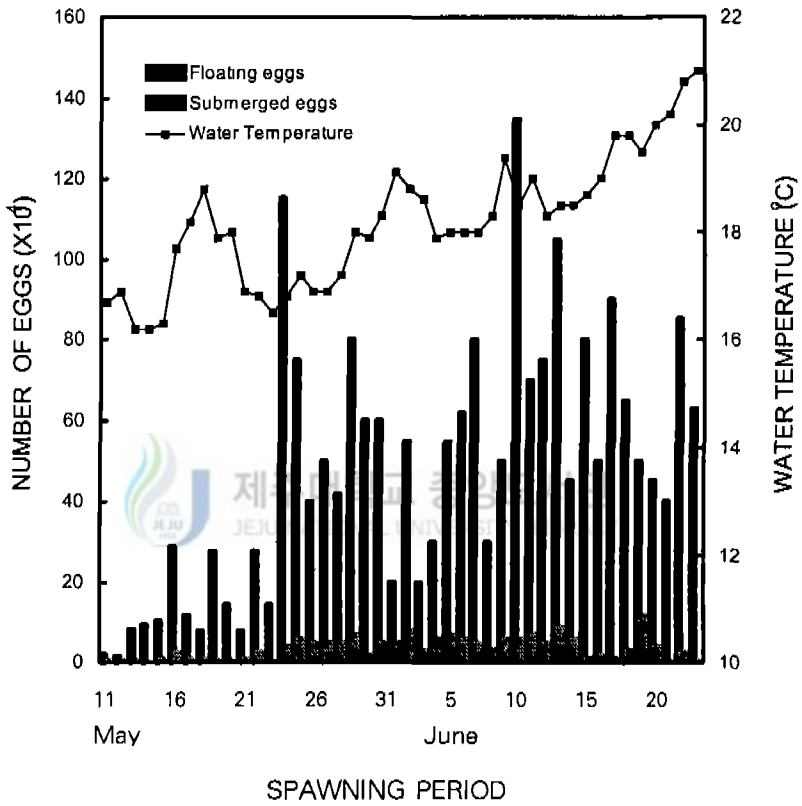


Fig. 46. Number of floating and submerged eggs recorded from experiment I during the spawning period.



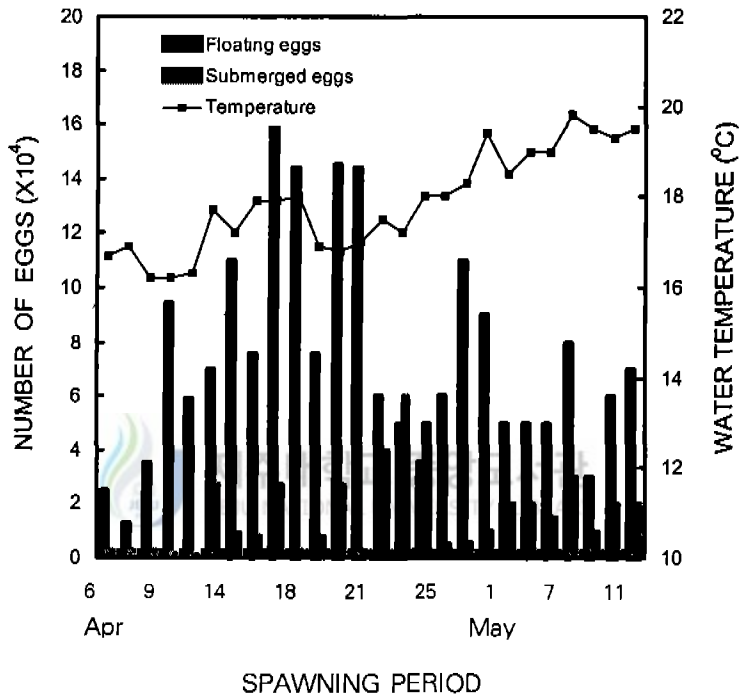


Fig. 47. Number of floating and submerged eggs recorded from experiment II during the spawning period.

율 92.00% 였다. 산란기간은 5월 12일~7월 11일까지 59일간이었다.

총채란량은 5,743천개, 부상란량 5,206천개(부상률: 5.06~99.12%, 평균, 90.6±20.51%), 수정률은 99.31%, 부화율은 41.73~97.96% (평균, 79.0±15.2%), 난경은 0.82~0.86 mm (평균, 0.83±0.014 mm), 유구경은 0.19~0.22 mm (평균, 0.20±0.012 mm)였다. 산란기간동안 수온은 16.9~22.4℃ 였다.

**실험 I** 실험 I의 산란 결과는 Fig. 46과 같다. 첫 산란은 수온이 16.7℃로 상승한 5월 11일에 시작되었다. 평균난경은 0.86 mm, 단위중량당 알수는 2,528립/g, 부화율 91.04%)였다. 산란기간은 5월 11일~6월 21일까지 41일간이었다.

총채란량은 4,256천개, 부상란량은 3,753천개(부상률: 32.04~97.42%, 평균, 88.12±17.8%), 수정률은 95.27%, 부화율은 36.40~98.57% (평균, 91.04±12.5%), 난경은 0.82~0.88 mm (평균, 0.84±0.027 mm), 유구경은 0.19~0.22 mm (평균, 0.20±0.012 mm)였다. 산란기간동안 수온은 16.7~21.2℃였다.

**실험 II** 실험 II의 산란 결과는 Fig. 47과 같다. 첫 산란은 수온이 16.2℃로 상승한 4월 6일에 시작되었다. 평균난경은 0.87 mm, 단위중량당 알수는 2,582립/g, 부화율은 74.30% 였다. 산란기간은 4월 6일~5월 11일까지 35일간이었다.

총채란량은 2,625천개, 부상란량 2,124천개(부상률 3.04~96.34%, 평균, 80.90±22.5%), 수정률은 90.10%, 부화율은 35.34~92.12% (평균, 74.30±12.3%), 난경은 0.83~0.89 mm (평균, 0.84±0.022 mm), 유구경은 0.19~0.23 mm (평균, 0.20±0.019 mm) 였다(Table 8). 산란기간동안 수온은 16.2~21.8℃, 비중( $\delta_{15}$ )은 1.0190~1.0244범위였다(Fig. 48).

산란 종료시의 수온은 20.2℃ 였고, 난경의 변화는 산란기간중 0.89 mm에서 0.83 mm 범위로 산란 경과 일수에 관계없이 커졌다 작아졌다를 반복하였으나 최종 산란 종기를 제외하면 산란후기로 갈수록 작아지는 경향을 보였다. 그러나, 유구경의 변화는 산란이 계속될수록 보다 분명하게 작아지는 경향을 보였다(Fig. 49).

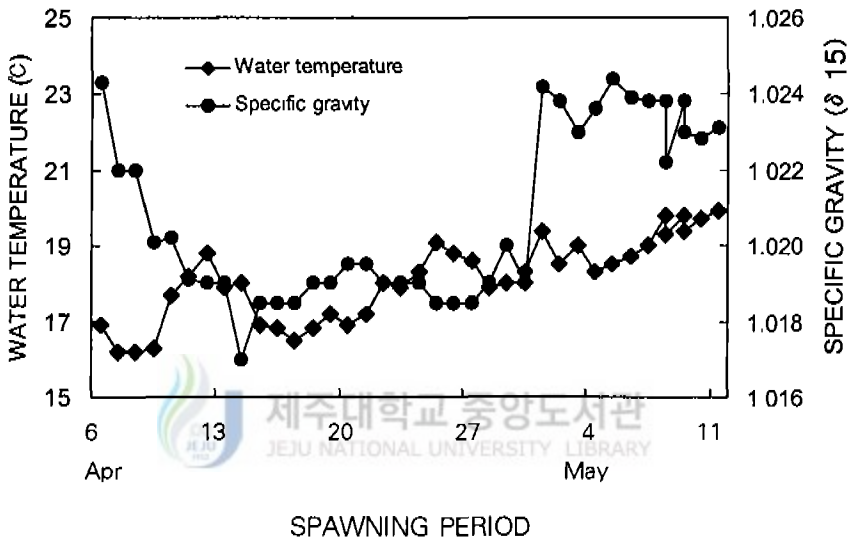


Fig 48. Changes of water temperature and specific gravity during the spawning period.

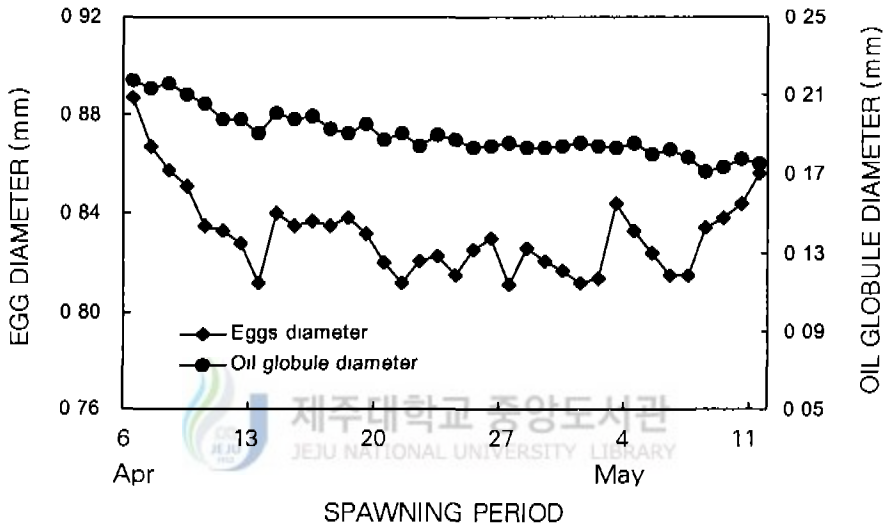


Fig. 49 Changes of egg and oil globule diameter during the spawning period.

Table 8. Number of spawned eggs and rate of floated eggs, fertilization and hatching eggs, mean diameter of eggs and oil globule

Number of spawned eggs ( $\times 10^4$ )	Rate (%)			Diameter (mm)	
	Floated eggs	Fertilization	Hatching	Eggs	Oil globule
262.5	80.9 $\pm$ 22.5	90.1 $\pm$ 8.4	74.3 $\pm$ 12.3	0.84 $\pm$ 0.02	0.20 $\pm$ 0.01

실험Ⅲ의 산란 수온을 14℃로 유지하고 광주기는 조절하지 않은 실험Ⅲ에서는 타 실험구와 동일 조건에서 자연 산란을 기다렸으나 수용한 어미의 대부분이 수컷으로 성숙하여 산란은 일어나지 않았다.

#### 6) 발생

발생에 사용한 감성돔 알은 수온과 광주기를 조절한 실험Ⅱ에서 채란한 알로서 무색투명한 구형의 분리부성란으로 난경은  $0.81 \pm 0.018 \mu\text{m}$ 이고, 유구는 1개로 크기는  $0.18 \pm 0.012 \mu\text{m}$  였다.

수온 18.5℃에서 난발생 과정은 수정 후 35분에 배반형성, 1시간 35분에 2세포기, 2시간에 4세포기, 2시간 20분에 8세포기, 3시간 5분에 16세포기, 3시간 35분에 32세포기, 4시간 10분에 64세포기, 8시간 10분에 상실기, 9시간 35분에 포배기, 10시간 45분에 배환형성, 14시간 55분에 낭배기, 15시간 50분에 난황의 약 1/2을 감고 내려오면서 배체형성, 22시간 50분에 원구가 폐쇄 직전에 이르고 배체가 형성이 시작되고 안포, 쿠퍼씨포, 근절 6~7개 형성, 수정 후 24시간 5분에 배체상에 갈색의 세포가 점상으로 출현하면서 쿠퍼씨포가 사라지고, 배체의 등면에는 갈색의 색세포, 복면에는 황갈색 색세포가 점상으로 산재하였다.

수정 후 25시간 25분에 근절은 15~16개 형성되고, 렌즈가 형성되기 시작하였으며, 배체상에는 더욱 색세포가 짙게 착색되고, 유구에 흑갈색 및 황색색세포가 출현한다. 수정 후 32시간 5분에 심장박동, 막지느러미 형성, 배체 움직임이 보이

고, 두부의 눈 주위에는 흑갈색 색소포가 수지상으로 발달해 있으며, 유구상에 착색된 색소포도 수지상으로 발달해 있다.

수정 후 37시간 50분에 부화되었다. 부화자어의 전장은 2.25~2.43 mm, 난황경은 단경이 0.45~0.51 mm, 장경이 0.60~0.61 mm, 유구는 난황의 뒤쪽에 위치하여 있다. 입과 항문은 열려있지 않으며, 척색은 직선형이었다. 근절은 10~11+12~13 = 22~24였다. 흑색의 색소포가 눈 앞부분과 후두부, 그리고 복추골 5~6번째 근절과 미추골의 중앙 뒷부분에 밀집되어 착색되어 있으며, 유구상에도 짙게 착색되어 있고 이외의 배체상에는 흑갈색과 황갈색 색소포가 산재하였다. 막지느러미는 포말상구조를 이루고 있었다.



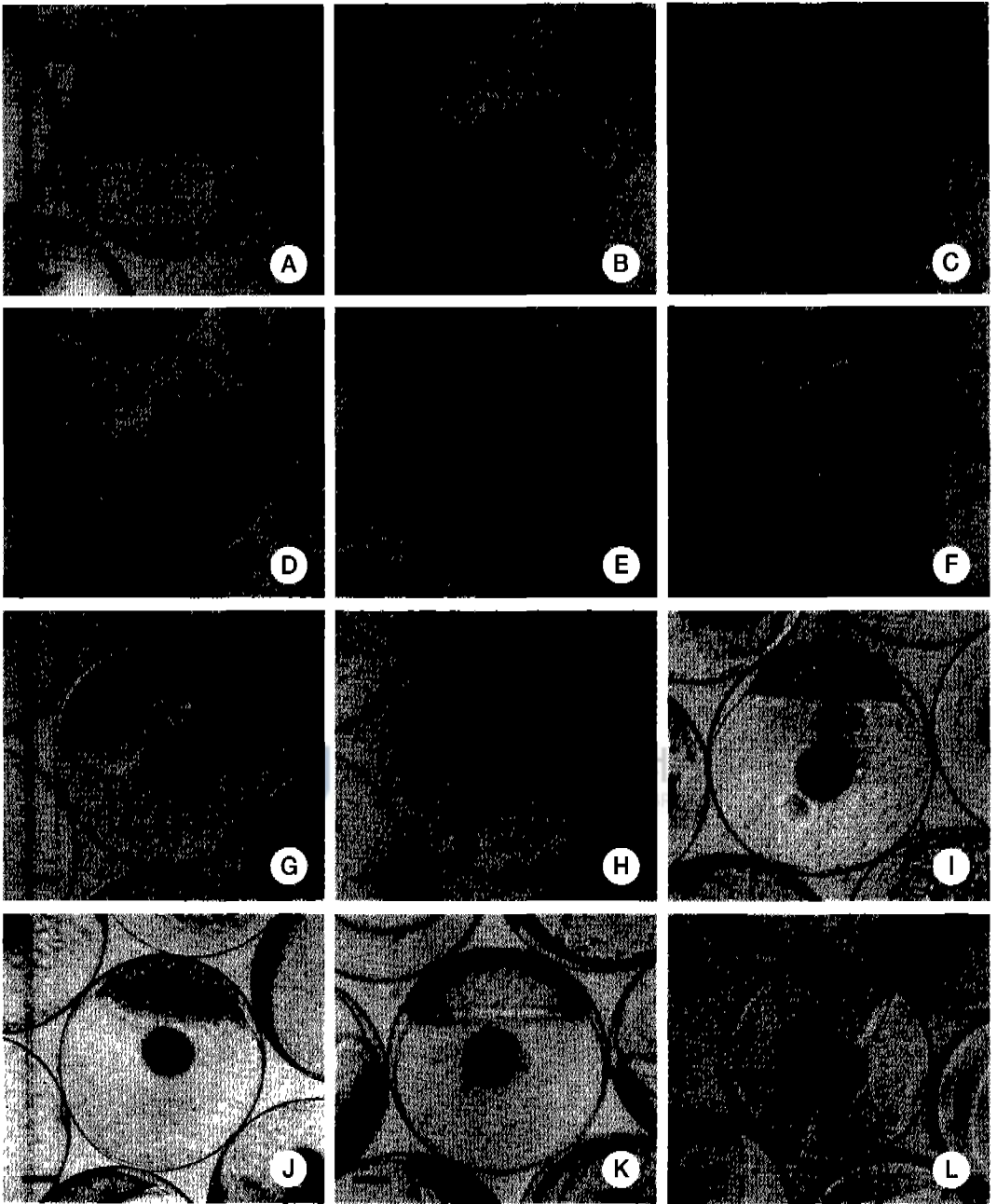


Fig. 50. Developmental of fertilized egg of *A. schlegeli*.

A. unfertilized egg; B: fertilized egg; C: 2-cell stage; D: 4-cell stage  
 E: 8-cell stage; F: 16-cell stage; G: 32-cell stage; H: 64-cell stage; I  
 morula stage; J: blastula stage; K: gastrula stage, L: postgastrula stage  
 Bars: 200  $\mu$ m.



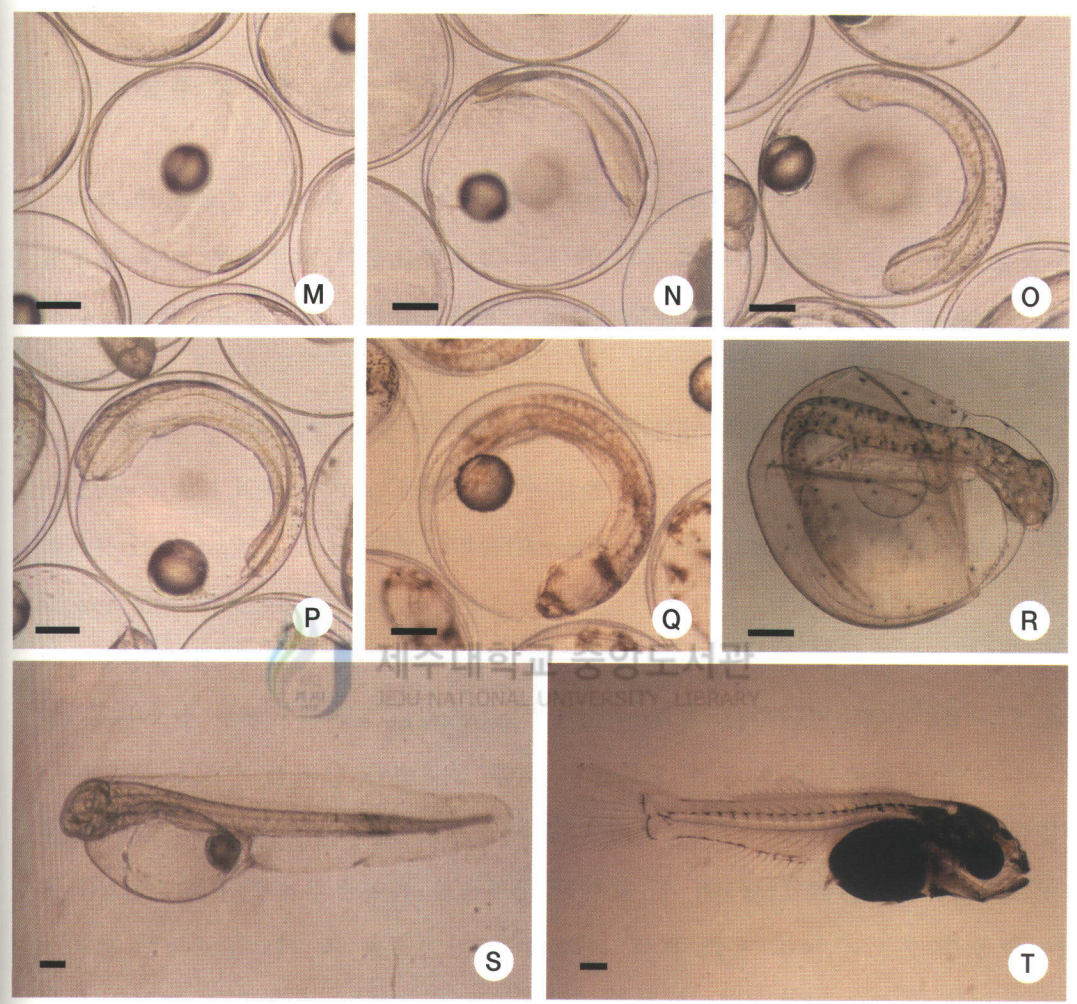


Fig. 50. Continued.

M: 90%-epiboly, N: closing of blastopore O: formation of optics vesicles myomeres stage; P: kupffer s vesicle; Q: appearance of melanophores, R: just before hatching, S: hatched larva; T: larva, 48 hours after hatching. Bars: 200  $\mu$ m



## IV. 고찰

### 1. 성현상과 성전환

어류의 생식소는 자웅이체형과 자웅동체형으로 대별되고, 자웅이체형은 초기 분화형에 따라 분화형과 미분화형으로 나누어진다. 자웅동체형에 있어서도 성체제에 따라 동시자웅선속형, 자성선속형, 웅성선속형으로 나누고 있다(Atz, 1964; Yamamoto, 1969).

감성돔은 자웅동체형의 웅성선속형에 속하며(Kinoshita, 1936; Okada, 1965a, b; Nakazono and Kuwamura, 1987), 이와 같은 웅성선속어는 도미과류(Sparidae), 양태과류(Platycephalidae), 흰동가리속(Amphipron)에서 보고되고 있다(Fujii, 1971; Moyer and Nakazono, 1978).

감성돔의 초기 성분화는 부화 후 3일된 개체에서 장관과 척색사이의 체벽 중배엽 상피에서 시원생식세포(primordial germ cell)로 간주되는 크기 6.8~7.2  $\mu\text{m}$ 인 3~4개의 세포가 섬유성 간충직에 묻혀 식별되고 이후 체강상피에서 분화되어 형성된 생식상피층을 따라 미분화된 생식원세포(proto-gonial cell)가 나타나고 있다. 원시생식소에서 생식원세포의 초기분열은 부화 후 6개월이 지나서 나타나고 있다. 이러한 생식소의 성분화 속도는 어종에 따라 각기 많은 차이가 있으며 동일 어종일 경우라도 사육수온, 개체간 성장차 등에 따라 차이가 심한 것으로 알려지고 있다(Lee et al., 1994). 감성돔의 성분화는 부화 후 6개월령에서 분화하는데 난소역이 일부 혼재된 수컷으로 분화하였다.

웅성선속어류중 양태과의 성분화 과정을 보면 양성능을 갖는 ovotestis에서 먼저 성숙한 수컷으로 기능을 한 후 정소부분이 퇴행 소멸된다. 이후 암컷으로 성숙하는 A type과 먼저 정소로 기능을 한 다음 양성생식소(ovotestis)를 거쳐 암컷으로 성숙하는 B type으로 나타나고 있다(Fujii, 1971). 감성돔의 경우 2년여까지는

수컷으로 성숙한 다음 휴지기때 자웅동체 현상을 보인 후 3 년어부터 암컷으로 전환하기 시작하여 B type에 속했다.

Kinoshita (1935)는 일본산 감성돔, *Sparus lonispinus*의 연령별그룹의 생식소에서 모든 개체는 어린시기에 수컷이 되고 후에 자웅동체가 된다고 하였다. 그러나, 그 반응 시기는 일시적이며, 최종적으로는 기능적 수컷과 암컷은 분화된다. 비슷한 경우는 동 연구자(1936)에 의해 *Milio latus* 와 *Rhabdosargus sarba* 두 종에서도 보고되었다.

감성돔의 각 발달단계별 개체의 통계적 연구를 다룬 논문에서 Oshima (1942) 역시 본 종에 대한 유어기 개체는 양성선속형 자웅동체이지만, 후에 성이 분리된다고 하였다. 이번 실험에서 감성돔은 모든 개체에서 휴지기에는 양성능을, 성장기에는 양성능이 모두 성장하다가 성숙기때 어느 한쪽의 성으로 발달한 후 퇴화기때 다시 자웅동체 현상을 보였다

자웅동체형은 동일 개체의 생식소에 일생중 자웅양성의 기능을 가지는 것을 말한다. 자웅동체의 기능적 생식소는 적어도 현재 8목 34과에 350~400종에 이르는 것으로 보고되고 있다(Nakazono and Kuwamura, 1987).

자웅동체 현상에는 난소 또는 정소로서 기능하는 시기에 따라 3가지 형으로 구분된다. 즉 ① 동일생식소 안에 난소, 정소가 모두 동시에 성숙하는 동시성숙형 (synchronous), ② 처음에 난소로 성숙하여 암컷으로서 기능을 하고 그후에 난소가 퇴화하여 정소로 분화되고 그것이 성숙한 수컷으로 기능하는 자성 성숙형 (protogynous), ③ 먼저 정소가 형성되어 기능적인 수컷으로 성숙한 후 다음에 정소의 퇴화와 함께 난소로 분화되어 암컷으로 기능하는 양성선속형 (protandrous)이 있다(Atz, 1964; Ghiselin, 1969; Yamamoto, 1969, Chan, 1970; Reinboth, 1970).

도미과(sparidae), 돌류, 농어과(percichthyidae), 능성어류에 있어서 모든 형의 자웅동체형이 보고되고 있다(Chan, 1970). 감성돔의 성전환은 조직내에서 한 개의

성이 발달하고 다른 성이 쇠퇴함으로써 수컷과 암컷요소가 결합조직에 의해 분리 배열되는 것으로 생각된다(Garratt, 1986; Sadovy and Shapiro, 1987)고 하였는데 이 연구에서 감성돔의 생식소는 성장기까지는 암·수 부위가 결합조직에 의해 이분된 상태에서 성장하면서 하나의 성으로 발달하였고 다른 성은 흔적으로 남게 되는데 산란기동안은 하나의 성만이 발달하였다.

감성돔의 난원세포와 제1차난모세포는 6개월에서 2년까지 분포하고, 생식소내에서 난소조직은 일부가 계속적으로 존재하는데, 이와 유사한 결과는 양성체인 돔의 일종, *Diplodus sargus*에서도 볼 수 있다(Micale et al., 1987). 그러나, 정소조직은 성숙암컷 생식소내에서 확실히 사라지지는 않았고, 흔적으로 남아있었다(Sadovy and Shapiro, 1987).

난소조직과 정소조직은 비산란기 동안에 9개월령되는 10개체 표본에서 횡단조직에서 정소조직과 난소조직 모두 성장하였다. 생식소도 정자형성으로 진행된다. 그러나, 여전히 생식소의 난소부위에 염색인기 난모세포가 분포한다. 휴지기에 18개월령에서 난소조직이 나타났다. 그러나, 산란기인 6개월 후 24개월령이 되면서 정소조직이 성장하여 기능적인 수컷이 되었다.

9개월령 감성돔에서 혈장 T는 생식소에서 정자형성이 진행될 때에 T 농도의 변화가 없었다. 생식기능에 스테로이드가 관련되지 않는 것으로 사료된다. 그러나, 산란기직전의 11개월령의 수컷에서 혈장 T가 높은 수치를 보이는 것은 정자형성에 이 스테로이드의 중요한 역할을 보여주고 있다(Fostier et al., 1983). 또한, T와 11-ketotestosterone은 정자형성에 중요한 규칙으로 작용하고 있다(Billard et al., 1982).

미숙한 감성돔의 생식소는 자웅동체 생식소 구조를 가지는 특징이 있지만, 정소나 난소로 성숙하는 동안에는 성이 분리된다. 그러나 이종은 융성선속이 강한 종이다. 부화 후 3년이 지나면 생식소는 정소와 난소로 구성되어지는데 3년어 표본의 48%가 기능적인 수컷이었다. 모든 생식소의 난소부분과 정소부분은 격막에 의해 분리되었다.

2년어의 경우 수컷부위에서 정자형성과정은 동일생식소의 난소부위의 존재에 의해 영향을 받는데 비해, 난소부위에서 난모세포 발달은 주변인기 난모세포 단계 이상의 발달은 없었다. 따라서, 어류가 성숙하는 단계에서 양성생식소는 난소부위가 존재함에도 정소로서 기능을 하고, 난소부위는 위축되고, 생식소는 난소로서 기능을 하지 못하고, 정소부위가 발달한다. 이러한 현상은 감성돔이 웅성선속종이라는 사실을 입증하고 있다.

감성돔의 생식소의 성숙, 발달단계는 정소상태, 양성체수컷, 양성체, 수컷, 암컷으로 추정된다. 2년어와 3년어 사이의 감성돔 생식소가 정소에서 난소로의 전환과정에 심도 있는 연구가 있어야 할 것으로 생각된다.

## 2. 호르몬 처리에 의한 성전환

호르몬 처리에 의한 성전환은 종에 따라 다양하며, 먼저 그 종의 성체재를 이해하고서 처리할 호르몬의 종류, 처리농도, 처리시기, 처리기간, 처리방법 등을 고려해야만 가능하다. 특히 자웅동체어의 성체재는 복잡하고 외부환경에 의한 성의 역전환이 가능한 것으로 알려져 있다. 또한, 웅성선속종의 호르몬 처리에 의한 자성화는 어려운 실정이다.

Jalabert et al. (1975)은 자웅이체 분화형에 속하는 무지개송어에 estrone을 경구투여(30~120 mg/kg diet)하여 실험적으로 자웅동체 현상을 만들어 자가수정에 의한 유전실험의 가능성을 시사하고 있다. 이경우 자성호르몬과 웅성호르몬중 어떤쪽의 성스테로이드에도 가능하기 때문에 정소나 난소로 기능적으로 성숙되는 동시에 성숙형의 자웅동체어를 만들 수 있다.

Nakazono and Kuwamura (1987)는 감성돔은 보통 만 2세까지 수컷으로 기능한 후 암컷으로 전환한다고 하나, 모든 개체에서 성전환이 일어나는 것은 아니다. 난소의 발달에서 초기에 개체차이가 있고, 발달이 나쁜 개체에서는 일생을 수컷 상태로 지내는 것으로 생각된다. 감성돔의 생식소 변화는 기능적 웅성시에 점차

발달한 난소 부분이 산란기후 정소의 퇴축에 따라 자성화되고, 다음 산란기에 접어들면서 정원세포 분열이 억제되어 난소가 발달하는 것으로 보여진다. 이 현상은 명확한 것은 아니지만, 적어도 난여포조직에서 자성호르몬 생산기구가 점차로 형성된 결과, 산란기후에는 옹성호르몬량이 감소하고 그에 대하여 자성호르몬의 증가에 의하여 성전환을 가져오는 것으로 사료된다. 부화 2개월 후의 감성돔 치어에 자성 호르몬을 수개월간 경구적으로 투여한 경우, 정소부분의 발달이 미약한 반면 난소부분의 발달이 현저하게 나타난다고 보고하였다.

이 연구에서 성분화 시기인 부화 후 6개월령부터 1년간  $E_2$  를 처리하여 조사한 결과 산란기후에 생식소내 난소역의 비율이 늘어나기 시작해 15~17개월령에는 난소역이 80~90%로 높게 나타났다.

$E_2$  는 다른 경골어류에서도 난소발달에 효과가 큰 것으로 알려져 있다(Fostier et al., 1982, 1983).  $E_2$  의 경구투여는 자웅이체 어류에서 성비가 다양하고 불안정한 기간동안에 암컷으로 결정이 된다(Yamamoto, 1969; Hunter and Donaldson, 1983; Yamazaki, 1983).  $E_2$  역시 자웅이체 어종들에서 난소발달을 유도한다(Ng and Idler, 1983). 이 연구에서 감성돔은  $E_2$  처리구에서 2, 3년어의 난소내에는 유구기 난모세포단계까지 발달하였다.

2년어 감성돔(대조구)에서  $E_2$  농도가 낮게 나타났는데 이러한 결과는 Chang and Yu (1990), Chang et al. (1994)에서도 유사한데 이는 옹성선속종인 감성돔의 경우 2년어의 성체재가 옹성이 강하기 때문으로 생각된다.

Chang et al. (1994)은 높은 혈장  $E_2$  농도는 대조구 보다는  $E_2$  처리구에서 산란기직전에 높게 나타나고, 혈장  $E_2$  의 최고치는 산란초기동안에 자연적으로 성전환된 암컷들(3년어)에서 관찰된다고 하였는데, 이 연구에서는 3년어의 경우  $E_2$  농도는 대조구보다는  $E_2$  처리구에서 높게 나타났고, 대조구에서 산란후기보다는 산란전기에 높게 나타나 비슷한 결과를 보였다. 그러나, 대조구에서 산란기후인 7월에 500 pg/ml 로 높게 나타났다. 이러한 현상은 3년어의 산란기 후에 암컷으로 전환하는 개체에서  $E_2$  농도가 높게 나타나는 것으로 생각된다.

또한 T 농도는 1, 2, 3년어 모두 E<sub>2</sub> 처리구가 대조구보다 낮게 나타났고, E<sub>2</sub> 농도는 처리구가 대조구보다 모두 높게 나타났다. 특히, E<sub>2</sub> 농도는 처리구에서 산란기 후에 높게 나타났으며 이 시기에 생식소내 난소역의 비율이 증가하였다. 수컷과 성전환중인 개체의 E<sub>2</sub> 농도는 sobaity (Kime et al, 1991)의 암컷과 수컷의 보고서와 비슷하였다. 이러한 E<sub>2</sub> 농도는 처리구에서 E<sub>2</sub> 를 처리한 사료를 어떻게 공급하느냐가 중요하며 E<sub>2</sub> 공급을 신속하게 하지 않으면, RIA에서 E<sub>2</sub> 는 검출이 불안정할 수 있다.

성전환된 개체의 높은 E<sub>2</sub> 농도를 유지하기 위한 E<sub>2</sub> 의 공급은 중요하다(Chang et al., 1994). Guiguen et al. (1993)은 E<sub>2</sub> 는 응성선속형 농어류, *Lates calcarifer* 에서 성전환에 중요하다고 보고하였다. 그러나, 응성호르몬의 경구투여로 자성선속형 장어류, *Monopterus albus* 와 놀래기의 일종, *Thalassoma bifasciatum*의 기능적인 성전환유도에 실패했다(Tang et al., 1974; Kramer et al., 1988, Miura et al., 1991a, b; Nakamura et al., 1989).

Okada (1973)는 무지개송어에 E<sub>2</sub> 처리시 성장장애가 일어난다고 보고하였고, Herman and Kincaid, (1988)는 E<sub>2</sub> 에 의한 조직병변을 보고하였는데, 이는 E<sub>2</sub> 에 의한 독성효과라고 생각되며 감성돔에서도 대조구에 비해 전장과 비만도가 낮게 나타났다.

자웅동체 어종인 *Rivulus marmoratus*, *Menidia menidia* 에서는 유전적 성결정 외에 환경요인에 의한 성결정(environmental sex determination) 즉, 수온, pH 등이 성비에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. *M. menidia*는 자연산 조사와 실험사육의 결과 저수온에서 자어를 사육한 경우 암컷 출현율이 유전적으로 높은 것으로 나타났다(Conover and Kynard, 1981; Conover and Fleisher, 1986).

이 연구에서 E<sub>2</sub> 처리는 난소를 발달시켰고 정소는 정자형성을 억제시켰다. 호르몬처리 후 1년어, 2년어, 3년어의 1999년 10월의 샘플에서 암컷으로 전환된 비율은 1년어 25%, 2년어 16.7%, 3년어 31.7%로 2년어가 상대적으로 낮았으며, 3년어가 높게 나타났다. 앞으로의 연구는 감성돔 성전환을 환경요인(수온, 염분, 광주기)과 내적요인(호르몬, 영양)등 여러 각도에서 조사할 필요가 있다고 생각된다.

### 3. 생식주기

경골어류의 난소는 생식수관의 구조와 연관하여 일반적으로 크게 나상형 (gymnovarian condition)과 낭상형 (cystovarian condition)으로 나누며(Hoar, 1957), 낭상형은 난소의 조직학적 특성에 따라 다시 낭상형 I 과 II의 두가지 형으로 구분하고 있다(Takano, 1964, 1989). 감성돔의 난소강은 난소 실질부의 등쪽 좌우측에 밀착되어 길게 체축을 따라 커지며 난소후측 끝부분에서 합쳐져서 수란관으로 연결되어지는 낭상형 I 에 속한다.

어류는 일반적으로 생식년주기를 산란시기에 따라 6가지 형태로 나누고 있다(Aida, 1991). 굽붕어, *Carassius auratus* (Razani and Hanyu, 1986) 같은 봄 산란형, 그물코쥐치, *Rudarius ercodes* (Lee and hanyu, 1984) 같은 여름 산란형, *Acheilongnathus rhombea* 와 *A. longipinnis* (Shimizu and Hanyu, 1982, 1983) 같은 가을 산란형, *Chasmichtys dolocognthus* (Kaneko et al., 1984)와 *Chaenogobius macrognathus* (Hibino, 1984)와 같은 겨울 산란형, 일본산 송사리, *Orhyzias litipes* (Awaji and Hanyu, 1987, 1988), 검정망둑, *Tridentiger obscurus* (Kaneko, 1986) 등은 봄여름 산란형 그리고 *Repomucenus beniteguri* (Zhu et al., 1989)와 같은 봄가을 산란형 등이다. 이러한 산란기의 특징은 종 특유의 수온과 일장에 대한 반응성으로 나타나며, 일반적으로 봄여름 산란형에 속하는 어류는 생식소 성숙의 시작과 산란기의 시작은 수온의 상승에 의하여 유도되어지며, 산란기의 종료는 일장의 단일화에 의하여 유도된다고 보고하고 있다(Asahina et al., 1980; Asahina and Hanyu, 1983; Awaji and Hanyu, 1988; de Vlaming, 1975; Kaneko, 1986; Shimizu and Hanyu, 1982).

반면 가을겨울 산란형들은 주로 일장의 단일화에 의하여 생식소 성숙과 산란이 촉진된다고 알려져 있다(Shimizu et al., 1987; Lundquist, 1980). 감성돔의 산란은 5~6월에 일어나며 성스테로이드호르몬과 GSI의 변화를 보면 감성돔은 봄여름 산란형에 속한다고 볼 수 있다. 감성돔의 산란은 5월~6월에 일어나며 성스테로이

드와 GSI의 변화를 보면 봄여름 산란형에 속한다고 볼 수 있다.

초기성장기 난모세포를 인의 배열과 발달에 따라 염색인기(chromatin nucleolus), 주변인기 전기(early perinucleolus stage) 및 주변인기 후기(late perinucleolus stage)로 구분하고 있다(Guraya et al., 1975)

주변인기 난모세포의 세포질에 나타나는 난황핵은 노래미, *Agrammus agrammus* (Chung and Lee, 1985), 자리돔, *Chromis notatus* (Lee and Lee, 1987)등 대부분의 경골어류에서 난모세포의 세포질에 난황물질이 축적되기 전에 haematoxylin에 농염되는 구형의 소체로서 나타나는 것으로 Guraya (1979)는 난황핵을 난모세포의 대사과정에서 중요한 역할을 할 것이라고 보고하고 있다.

3년어에서 반수 이상은 성숙한 정소를 가지고 작출에 의한 정액이 분비되었다. 3년어에서 몇몇 개체는 흔적적인 정소조직만 있고 대부분 난소로 분리되었다. 4년어에서 암컷이 증가하기 시작하고 난소내에서 성숙 난모세포가 출현하였다.

각 생식소에서 정소부위는 크기가 크게 감소하고, 산란후에는 정소로 되는 듯하다고 Kinoshita (1935, 1936)는 보고하고 있다. 어류에서 methyltestosterone의 양이 적어지면서 생식소는 정소부위화 되는 것으로, 정소 소염은 수일내에 정자로 채워진다. 그러나, 미숙 개체에 더 많은 처리를 하여도 산란은 되지 않았다. 더욱이, 이러한 생식소의 소관은 서로 다르게 구성되어 미약하게 발달하였다.

어종에 따라서 유구의 출현시기는 다르게 나타나는데, 구피, *Lebistes reticulatus* (Takano, 1964), 농어, *Lateolabrax japonicus* (Hayashi, 1972)등에서는 난황포기 형성과 동시에 생긴다. 그리고 자리돔(Lee and Lee, 1987)에서는 난황포의 형성이 시작된 후에 생긴다. 이 연구에서 감성돔은 주변인기 난포세포에서 난황포기 난모세포로 들어가는 시기에 형성되어 앞에서와 유사한 결과를 보였다.

감성돔 수컷의 혈중  $E_2$  와 T 농도의 최고치는 산란기 직전이었다. 이러한 결과는 다른 자용동체 어종인 청돔, *Rhabdosargus sarba* 에서 Yeung and Chan, (1987b)이 보고하였다.

Kinoshita (1935, 1939)는 감성돔 산란기간동안의 첫 산란은 생식소에서 난소부



위의 발달에 따라 분리된다고 하였다. 그러나, 이 연구에서 3년어나 그 이하의 감성돔의 난소발달은 주변인기 단계에 머물러 있으며, 일부 성숙이 빠른 3년어에서 난모세포 세포질에 난황이 축적되기 시작하였으며, 난소조직에서 난원세포와 제1차난모세포는 정소조직과는 별도로 발달하였다.

정소조직은 성숙암컷 생식소내에서 확실히 사라지는 않았고, 흔적으로 남아 있었다(Sadovy and Shapiro, 1987). 양성한 감성돔 3년어 중 39%는 암컷으로 변환했고 나머지는 여전히 수컷상태 또는 성전환 진행단계(Lin et al., 1986, 1987)라고 보고 하였으나 이 연구에서는 3년어 중 암컷으로의 전환은 대조구에서 14.2%로 낮게 나타나 외부 환경요인에 의한 성전환 현상을 파악할 필요가 있다고 생각된다.

#### 4. 수온과 광주기에 의한 생식주기 조절

대부분의 어류는 각기 정해진 시기에 성숙, 산란하며 산란기를 중심으로 생식년 주기를 나타내고 있는데(Lee and Hanyu, 1984), 어류의 성숙과 배란 및 산란은 생식내분비계 지배에 의하여 조절되지만, 이들의 조절을 유도하는 것은 대부분 환경요인이며, 이중에서도 수온과 일장에 의한 영향이 가장 크다고 알려져 있다(de Vlaming, 1975; Asahina and Hanyu, 1984). 그러나, 종 특유의 생식활동에 적합한 시기에 산란기를 가지며, 생식소의 활성을 유도하는 온도와 일장의 조건이 복합적으로 작용하고 있으며, 종에 따라 그 범위가 각기 다르게 나타나고 있다(Aida et al., 1984; Kim and Hur, 1991).

감성돔은 남해안에서 5~6월 사이에 성숙산란하는 생식년주기를 보이는데, 육상수조에서의 주 산란도 5~6월이었다. 수온 16.5℃ 이상에서 22℃ 전후까지 이루어지며 산란 성기는 18~20℃였다.

수온과 광주기 조절 실험구에서 하나의 조건만 주었을 때 생식소 발달과 산란 시기는 변화가 없었다. 실험 I의 자연수온에 일장만 앞당긴 조건에서는 대조구와

동일하게 산란이 일어났으며, 실험Ⅲ의 수온을 상승하고 일장을 자연상태로 한 경우에 GSI는 1~4월까지 다른 실험구보다 높게 나타났으나 대부분이 수컷으로 성숙하여 성숙란을 가진 암컷은 볼 수 없었다.

이 연구에서 수온과 광주기를 조절한 실험Ⅱ에서 2월에는 모든 수컷개체에서 복부압박에 의해 정액이 분비되어 수컷이 1~2개월 먼저 성숙하는 양상을 보였으며 4월 6일 산란이 개시되어 대조구보다 37일 일찍 산란이 개시되었다. 첫 산란은 실험Ⅰ은 5월 11일에, 실험Ⅱ에서 수온 16.7℃, LD 14:10인 4월 6일에, 대조구는 5월 12일에, 실험Ⅲ은 산란이 일어나지 않았다. 이러한 결과로 볼 때 감성돔의 산란에는 수온과 광주기를 함께 조절하였을 때 조기산란이 유도되었으며, 광주기만 조절한 실험Ⅰ에서는 산란이 대조구와 동일하였으며, 실험Ⅲ의 월동시 수온은 14℃를 유지하였지만, 대부분의 개체가 수컷으로 성숙하였고 성숙란을 가진 암컷이 없었기 때문에 산란은 일어나지 않았다. 따라서 감성돔의 산란개시 요인은 주로 광주기가 작용하고 수온이 보상적으로 작용하는 것으로 사료된다.

넙치의 경우 Kim and Hur (1991)는 수온과 광주기를 조절하여 수온 13℃ 전후, 14L/10D에서 14.5L/9.5D로 바꾸었을 때 60일만에 산란을 유도하였고, 참돔의 경우 Kim and Kim (1990)은 광주기와 수온을 조절하여 자연상태보다 약 1개월 조기 채란하였다.

양성체 어종인 청돔, *Rhabdosargus sarba* 에서 Yeung and Chan (1987b)이 보고한 것처럼 감성돔에서도 수컷의 혈중 E<sub>2</sub>와 T 농도의 최고치는 산란기 직전에 나타나 이번 결과와 잘 일치되고 있다. 생식주기동안 수컷상태에서 T와 E<sub>2</sub>의 수치는 큰 변화를 보이지 않았다(Yeung and Chan, 1987b). 그러나, 이들은 수컷상태에서 혈중 E<sub>2</sub>와 androstenedione(free)의 높은 수치를 가졌다. 산란기직전의 수컷에서 혈장 T가 높은 수치를 보이는 것은 정자형성에 이 스테로이드의 중요한 역할을 보여주고 있다(Fostier et al., 1983). 더욱이, T 농도가 산란기 후에 감소하는 반면 이 시기에 11-ketotestosterone 농도는 높게 나타나 정자형성에 중요한 활성 스테로이드로 작용하고 있다(Billard et al., 1982).

Pickering et al. (1987)은 핸드링스트레스로 인한 androgens 순환에 영향을 보고했다. 혈장 T와 E<sub>2</sub>의 최고치는 감성돔 암컷에서 볼 수 있었다(Yu et al., 1986). 이 연구에서도 암컷에서 혈장 T와 E<sub>2</sub>는 수컷에서와는 다르게 E<sub>2</sub>와 T의 최고치는 산란기보다 산란기직전에 더 높게 나타났다. 또, 혈중 스테로이드의 낮은 값(<100 pg/ml)이 관찰되었던 것은 핸드링에 의한 스트레스로 생각된다.

암컷의 성숙기간동안 GSI, 난경, T, E<sub>2</sub>와의 관계는 난황포기와 성숙기간동안에 성스테로이드의 현저한 상관관계를 가리킨다. 이것은 일반적으로 간에서 난황전구 생성은 E<sub>2</sub> 작용에 의해서 이뤄지고 있다(de Vlaming et al., 1980).

자연조건하의 대조구에서 실험개시 시기인 1998년 9월의 평균 전장은 26.38 cm였으며, 평균체중은 326.71 g 이었다. 실험개시 후 12개월째인 1999년 8월의 평균 전장은 29.35 cm였으며, 평균체중은 474.33 g으로 전장은 약 3 cm, 체중은 150 g 증가하였으나 월별 뚜렷한 변화는 보이지 않았다.

해산경골어류의 대부분이 분리부성란을 가지고 있으며, 감성돔 역시 분리부성란을 가지는 어종이다. 감성돔의 난경과 유구경에 대하여 Kim (1970)은 0.81~0.96 mm, 0.22 mm, Lee and Rho (1987)는  $0.87 \pm 0.04$  mm,  $0.23 \pm 0.01$  mm 범위라고 보고하였는데, 이 연구에서는 난경은  $0.844 \pm 0.027$   $\mu$ m이고, 유구경은  $0.199 \pm 0.012$   $\mu$ m로 앞의 연구와 잘 일치하고 있다.

수온과 광주기 조절 실험구 모두에서 수정률, 부화율, 난경, 유구경 등 난질이 대조구와 비슷한 결과를 보여 양호하게 나타나 조기수정란을 사용하여 종묘생산을 하여도 난질에 문제는 없을 것으로 생각된다.

참돔(Kim and Kim, 1990)과 돌돔(Jeong et al., 1998)을 대상으로 한 실험에서 산란기간동안 난경은 산란 후반기로 갈수록 작아진다고 보고하였는데, 이 연구에서도 대조구, 실험구 모두 다소 불규칙한 변화를 보였으나 산란기간이 경과할수록 대체로 작아지는 경향이었으며 유구경은 산란 후기로 갈수록 작아지는 경향이 분명하였다.

## VI. 요약

감성돔의 성장에 따른 성전환 현상을 구명하기 위해 1년어, 2년어, 3년어를 대상으로 생식세포의 발달 양상과 estradiol-17 $\beta$  (E<sub>2</sub>) 경구투여에 의한 성전환 유도 그리고 이에 따른 성스테로이드호르몬 활성변화를 조사하였다. 감성돔의 생식주기와 친어의 조기산란 유도를 위한 수온과 광주기 조절 그리고 이에 따른 생식소 발달과 성스테로이드호르몬의 활성변화 및 친어의 산란과 수정란의 초기 발생 등을 번식생물학적으로 탐색하였다.

### 성현상과 성전환

감성돔 1, 2, 3년어 각각 120마리를 사육하면서 월별 생체지수와 성스테로이드호르몬의 활성변화, E<sub>2</sub> 처리에 의한 성전환 및 연령별 난·정소비율을 조사하였다.

자연조건으로 사육한 대조구에서 생체지수의 변화를 보면 1년어(6~17개월령), 2년어(18~29개월령), 3년어(30~41개월령)의 GSI는 1998년 11월에 각각 0.061, 0.13, 0.34로 낮았으며, 1999년 5월에 각각 0.21, 7.51, 12.01로 최고값을 가졌고, 9월에 접어들어 각각 0.079, 0.21, 0.37로 낮았다.

HSI는 1998년 12월에 각각 2.71, 2.52, 2.64로 높았으며, 1999년 5월에 각각 1.89, 1.58, 1.67로 낮은 값을 가졌고, 10월까지 각각 2.07, 1.47, 1.83로 낮았다.

CF는 1998년 11월에 각각 20.8, 19.2, 19.1로 높았으며, 1999년 5월에 각각 16.5, 19, 17.8로 낮은 값을 가진 후, 1999년 10월에 접어들어 각각 19.1, 20.4, 19.8로 다시 높아졌다.

1, 2, 3년어의 생식소내 정·난소역의 발달에서 난소역이 차지하는 면적은 11월에 각각 0.1%, 12.2%, 27.4% 였고, GSI값이 최고치를 보이는 5월에 각각 2.3%, 3.6%, 39.6% 그리고 GSI값이 낮은 10월에 각각 38.4%, 32.1%, 45.3%로 상대적으로

로 높았다.

1, 2, 3년어의 생식소 발달에 따른 혈장내 E<sub>2</sub> 농도는 11월에 각각 10 pg/ml, 10 pg/ml, 100 pg/ml 였고, GSI값이 최고치를 보이는 5월에 각각 10 pg/ml, 10 pg/ml, 100 pg/ml 그리고 난소부위 면적이 상대적으로 높은 9~10월에 각각 80 pg/ml, 10 pg/ml, 100 pg/ml 였다.

1, 2, 3년어의 생식소 발달에 따른 혈장내 T 농도는 11월에 각각 15 pg/ml, 100 pg/ml, 201 pg/ml 였고, GSI값이 최고치를 보이는 5월에 각각 15 pg/ml, 300 pg/ml, 200 pg/ml 그리고 9~10월에 각각 115 pg/ml, 100 pg/ml, 10 pg/ml 였다.

감성돔의 1~3년어의 휴지기동안의 모든 개체에서 연령과 전장에 관계없이 자용동체현상을 보였으며, 성전환과정은 유시자용동체 → 치어기용성개체 → 자용동체 → 용성개체 → 자용동체 → 자성개체의 순서로 전환했다.

### 호르몬 처리에 의한 성전환

E<sub>2</sub> 를 감성돔 1, 2, 3년어에 2 ppm/kg diet 농도로 1998년 11월부터 1999년 10월까지 경구투여 하였을 때 GSI, 생식소내 정·난소의 발달에서 난소역의 차지하는 면적, 혈장내에 E<sub>2</sub> 와 T의 농도 변화를 조사하였다.

1, 2, 3년어의 GSI는 1998년 11월에 각각 0.061, 0.13, 0.34로 낮았으며, 1999년 5월에 당년어는 0.05로 계속 낮은값을 가졌으나, 2~3년어는 각각 2.21, 3.91로 최고값을 가졌다. 그리고, 1999년 9~10월에 접어들어 1년어는 0.28로 증가하였으나, 2~3년어는 각각 0.84, 0.40으로 낮았다.

1, 2, 3년어의 HSI는 1998년 12월에 각각 2.71, 2.50, 2.40로 높았으며, 1999년 5월에 모두 1.5로 낮은 값을 가졌고, 10월에는 각각 1.08, 0.76, 2.14을 나타냈다.

1, 2, 3년어의 CF는 1998년 12월에 각각 20.8, 19.1, 19.1로 높았으며, 1999년 5월에 각각 16.0, 15.2, 17.5로 낮은 값을 가진 후, 1999년 10월에 접어들어 각각 17.2, 16.8, 19.1로 서서히 높아졌다.

생식소내 정·난소역의 발달에서 난소역이 차지하는 면적은 11월에 각각 0.1%,

12.2%, 27.4%였고, GSI값이 최고치를 보이는 5월에 각각 2.5%, 3.6%, 53.4% 그리고 GSI값이 낮은 9~10월에 각각 91.4%, 84.9%, 80.8%로 상대적으로 높았다.

생식소 발달에 따른 혈장내 E<sub>2</sub> 농도는 11월에 모두 10 pg/ml 였고, GSI값이 최고치를 보이는 5월에 각각 10 pg/ml, 10 pg/ml, 1115 pg/ml 그리고 난소부위 면적이 상대적으로 높은 9~10월에 각각 430 pg/ml, 10 pg/ml, 950 pg/ml 였다.

생식소 발달에 따른 혈장내 T 농도는 11월에 각각 10 pg/ml, 100 pg/ml, 200 pg/ml 였고, 5월에 각각 5 pg/ml, 200 pg/ml, 100 pg/ml 그리고 9~10월에 각각 40 pg/ml, 200 pg/ml, 10 pg/ml 였다.

### 생식주기

감성돔의 생식주기는 성장기(2~3월), 성숙기(3~4월), 완숙 및 산란기(5~6월), 퇴행 및 휴지기(7~1월) 등의 연속적인 주기를 나타냈다.

성장기(2~3월)에는 GSI 값이 증가하였고, 난소역에는 주변인기 난모세포들이 성장하였으며, E<sub>2</sub> 농도는 1000~1400 pg/ml 로 증가하고, 정소부위는 정모세포, 정세포들이 활발히 분화하였고, T 농도는 700pg/ml 로 증가했다.

성숙기(3~4월)에는 GSI 값이 급속히 증가하고 난소역에는 여러 단계의 난모세포들이 관찰되며, E<sub>2</sub> 농도는 100 pg/ml 로 급격히 감소하고, 정소부위는 정세포와 정자들이 집괴를 형성하였고, T 농도는 1000 pg/ml 로 증가했다.

완숙 및 산란기(5~6월)에는 GSI 값은 5월에 높게 나타난 후 6월에는 낮게 나타났고 암컷에서는 완숙란으로 가득 차오며, E<sub>2</sub> 농도는 100 pg/ml를 나타내고, 수컷의 세정관에는 정자들로 가득차 있었고, T 농도는 100 pg/ml를 나타냈다.

퇴행 및 휴지기(7~1월)에는 GSI 값은 낮게 나타났고 난소역에는 염색인기 난모세포가 주를 이루고, 정소역에는 정원세포, 정모세포들로 구성되어 있었다.

### 수온과 광주기에 의한 생식주기 조절

감성돔의 생식주기를 조절하는 환경요인 중 수온과 광주기의 역할을 알아보기

위해 자연수온과 자연광주기 조건의 대조구, 자연수온 조건에 광주기 조절한 실험 I, 수온조절(14~24℃)과 광주기 조절을 한 실험 II, 수온조절(14~24℃)만 해준 실험 III 조건에서 생체지수의 월변화와 산란 및 E<sub>2</sub> 와 T의 양적 변화를 조사한 결과는 다음과 같다.

대조구, 실험 I, 실험 II, 실험 III의 GSI는 1998년 9월에 모두 0.39에서 대조구, 실험 I, III은 5월에 각각 12.6, 12.1, 9.8, 실험 II는 4월에 12.01로 최고치를 보인 후 1999년 8월까지 0.3~0.5로 감소했다.

HSI는 대조구와 실험 III은 1998년 11월에 2.81, 3.24, 실험 I은 1월에 3.31, 실험 II는 12월에 3.48로 최고치를 보인 후 1999년 8월까지 1.0~1.5로 감소했다. 모든 실험구의 HSI는 GSI보다 5~6개월 전에 높은 값을 보여 GSI와 역의 상관관계를 보였다.

CF는 대조구와 실험 II, III은 1998년 11월에 19.28, 20.73, 19.15, 실험 I은 12월에 19.18로 최고치를 보인 후 1999년 8월까지 17~18로 감소했다. CF의 변화는 산란기보다는 섭이 활동이 활발한 가을철에 19~20의 높은 값을 나타냈고, 산란기후인 6월에 16.3~17.0으로 최소치를 보였다.

수온과 광주기를 동시에 조절한 실험 II에서 실험개시 192일이 경과한 1999년 4월 6일 수온 16.2℃로 상승하고 L/D가 14/10일때 첫 산란이 개시되어 대조구보다 37일 일찍 산란하였다

산란은 수온 16.2℃로 상승한 4월 6일에 시작되어 5월 11까지 37일간 계속되었으며, 채란량은 2,625천개로 그중 부상란수는 2,124천개로 평균부상률은  $80.9 \pm 22.5\%$  였으며, 수정률은  $90.1 \pm 843\%$ , 부화율은  $74.3 \pm 12.3\%$  였다.

난경은  $0.84 \pm 0.02$  mm, 유구경은  $0.21 \pm 0.01$  mm 로서 산란이 진행될수록 점차 작아지는 경향이였다.

## 참고문헌

- Aida, K, 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleosts, Bull. inst. Zool., Academia Sinica, Monograph., 16, 173~187.
- Aida, K., T. Kato and M. Awaji, 1984. Effects of castration of the smoltification of precocious male masu salmon *Oncorhynchus masou*. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 50, 565~571.
- Asahina, K. and I. Hanyu, 1983. Role of temperature and photoperiod in annual reproductive cycle of the rose bitterling, *Rhoreus ocellatus*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. 49, 61~67.
- Asahina, K. and I. Hanyu, 1984. Development of photoperiodism involved in the gonadal activity of the rose bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. 51, 1655~1670.
- Asahina, K., I. Iwashita, I. Hanyu and T. Hibiya, 1980. Annual reproductive cycle of bitterling, *Rhoreus ocellatus*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. 46, 299~305.
- Atz, F. W, 1964. Intersexuality in Fishes. In: Armstrong C. N and A. J. Marshall (eds) *Intersexuality in Vertebrates. Including Man.* pp. 145~232. Academic Press. London.
- Awaji, M. and I. Hanyu, 1987. Annual reproductive cycle of wild type of medaka. Nippon Suisan Gakkaishi, 53, 959~965.
- Awaji, M. and I. Hanyu, 1988. Effects of water temperature and photoperiod on the beginning of spawning season in the orange-red type medaka. Zool. Sci. 5, 1059~1064.
- Baik, J. M., 1993. Annual change in reproductive cycle with sex steroid



- hormone of rockfish, *Sebastes schlegeli*. Department of Biology Graduate School Donggeui University, Pusan, Korea. pp. 29. (in Korean).
- Billard, R., A. Fostier, C. Weil and B. Breton, 1982. Endocrine control of spermatogenesis in teleost fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39, 65~79.
- Chan, S. T. H., 1970. Natural sex reversal in vertebrates. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B.*, 259, 59~71.
- Chung, E. Y and T. Y. Lee, 1985. Studies on the reproductive cycle of greenling, *Agrammus agrammus* (Temminck et Schlegel). *Bull. Nat. Fish. Univ. Pusan*, 25, 26~42 (in Korean).
- Chang, C. F and W. S. Yu, 1990. Annual cycle of gonadal histology and steroid profiles in the juvenile males and adult females of the protandrous black porgy, *Acanthopagrus schlegeli*. *Aquaculture* 91, 179~196.
- Chang, C. F., M. F. Lee and G. R. Chen, 1994. Estradiol-17- $\beta$  associated with the sex reversal in protandrous black porgy, *Acanthopagrus schlegeli*. *J Exp. Zool* 268, 53~58.
- Chyung, M. K., 1990. The fishes of korea., Il Ji Sa. Publishing Co., Seoul. 357~363.
- Clemens, H. P. and T. Inslee, 1968. The production of unisexual broods by *Tilapia mossambica* sex-reversed with methyltestosterone. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 97(1), 18~21.
- Conover, D. O. and B. E. Kynard, 1981. Environmental sex determination: interaction of temperature and genotype in a fish. *Science*. 213, 577~579.
- Conover, D. O. and M. H. Fleisher, 1986. Temperature-sensitive period of sex determination in the atlantic silverside, *Menidia menidia*. *Can. J. Fish. Aqua. Sci.* 43, 514~520.
- de Vlaming, V. L., 1972a. Environmental control of teleost reproductive cycles: a

- brief review, F. Fish. Biol. 4, 131~140.
- de Vlaming, V. L., 1972b. The effects of temperature and photoperiod on reproductive cycling in the estuarine gobiid fish, *Gillichthys mirabilis*. Fish. Bull., 70(4), 1137~1152.
- de Vlaming, V. L., 1975. Effects of photoperiod and temperature on gonadal activity in the cyprinid teleost, *Notemigonus crysoleucas*. Biol. Bull., 148, 402~415.
- de Vlaming, V. L., H. S. Wiley, G. Delahunty and R. A. Wallace, 1980. Goldfish, *Carassius auratus* vitellogenin: induction, isolation, properties and relationship to yolk proteins. Comp. Biochem. physiol., 67B, 613~623.
- Dindo, J. J. and R. MacGregor, 1981. Annual cycle of serum gonadal steroids and serum lipids in striped mullet. Trans. Am. Fish. Soc., 110, 403~409.
- Donaldson, E. M. and G. A. Hunter, 1982. Sex control in fish with particular reference to salmonids. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39, 99~110.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics, 11, 1~42.
- Fostier, A., R. Billard, B. Breton, N. Legendre and S. Marlot, 1982. Plasma 11-oxotestosterone and gonadotropin during the beginning of spermiation in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). Gen. Comp. Endocrinol. 46, 428~434.
- Fostier, A., B. Jalabert, R. Billard, B. Breton and Y. Zohar, 1983. The gonadal steroids. In Fish Physiology. Vol. IXA, pp. 277~372. Edited by W. S. Hoar, D. J. Randall and E. M. Donaldson. Academic Press. New York.
- Fujii, T., 1971. Hermaphroditism and sex reversal in fishes of the Platycephalidae. II. *Kumococius detrusus* and *Inegocia japonica*. Japan. J. Ichthyol. 18, 109~117
- Garratt, P. A., 1986. Protogynous hermaphroditism in the slinger, *Chrysolephus puniceus* (Gilchrist and Thompson, 1908) (Teleostei: Sparidae). J. Fish Biol.,

28, 297~306.

- Ghiselin, M. T., 1969. The evolution of hermaphroditism among animals. *Quart. Rev. Biol.* 44, 189~208.
- Goetz, F. W., E. M. Donalson, G. A. Hunter and H. M. Dye, 1979. Effects of estradiol-17 $\beta$  and 17 $\alpha$ -methyltestosterone on gonadal differentiation in the coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Aquaculture*, 17, 267~278.
- Guerrero, R. D., 1975. Use of androgen for the production of all-male *Tilapia aurea* (Steindachner). *Trans Am Fish Sci* 104, 342~348.
- Guiguen, Y., B. Jalabert, E. Thouard and A. G. Fostier, 1993. Change in plasma and gonadal steroid hormone relation to the reproductive cycle and the sex inversion process in the protandrous seabass, *Lates calcarifer*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 92, 327~338.
- Guraya, S. S., 1979. Recent advances in the morphology, cytochemistry and function of Balbiani's vitelline body in animal oocytes. *Int. Rev. Cytol.*, 59, 249~321.
- Guraya, S. S., S. Kaur and P. K., Saxena. 1975. Morphology of ovarian changes during reproductive cycle of fish, *Mystus tengara* (Ham.). *Acta anat.*, 91, 222~260.
- Hayashi, I., 1972. On the ovarian maturation of the Japanese sea bass, *Lateolabrax japonicus*. *Japan. J. Ichthyol.*, 19, 243~254.
- Herman, R. L. and H. L. Kincaid, 1988. Pathological effects of orally administered estradiol to rainbow trout. *Aquaculture*. 72, 165~172.
- Hibino, H., 1984. Studies on reproductive rhythms in the ukigori-goby. Master thesis. The University of Tokyo.
- Hoar, W. S., 1957. The gonads and reproduction "The physiology of Fishes" (ed. M. E. Brown). Vd. 1. Academic press. New York., pp. 287~321.

- Htun-Han, M., 1978a. The reproductive biology of the dab, *Limanda limanda*(L.) in the North Sea: seasonal changes in the ovary J. Fish Biol., 13, 351~359.
- Htun-Han, M., 1978b. The reproductive biology of the dab, *Limanda limanda*(L.) in the North Sea: seasonal changes in the testis. J Fish Biol, 13, 361~367.
- Hunter, G. A. and E. M. Donaldson, 1983. Hormonal sex control and its application to fish culture In Fish Physiology. Vol. IXB, pp. 223~303 Edited by W. S. Hoar, D. J Randall and E. M. Donaldson Academic press, New York.
- Hwang, S. I., Y. D. Lee, C. B. Song and S. Rho, 1998. Gonadal development and the effects of 17 $\alpha$ -methyltestosterone on sex inversion of the red spotted grouper, *Epinephelus akaara* Journal of Aquaculture. 11(2), 173~182. (in Korean)
- Jalabert, B., J. Moreau, P. Planquette and R. Billard, 1974. Determinisme du sexe chez *Tilapia macrochir* et *Tilapia nilotica*. action de la methyltestosterone dans l'alimentation des alevins sur la differenciation sexuelle' obtention de males inverses" fonctionnels et production des sexes dans la descendance. Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys, 14, 729~739
- Jalabert, B. R. Billard and B. Chevassus, 1975. Preliminary experiments on sex control in trout : production of sterile fishes an simultaneous self-fertilization hermaphrodites. Ann. Biol. Anim. Biophys. 15, 19~28
- Jeong, K. S., S. M. Kim., I. C. Bang, S. Y. Kim and W. K. Lee, 1998. Induced spawning of striped knife-jaw, *Oplegnathus fasciatus* by manipulating water temperature and photoperiod. Journal of Aquaculture. 11(2), 141~149 (in Korean).
- Kaneko, T., 1986. Studies on reproductive rhythms in gobiid fish. Doctoral thesis, The university of Tokyo.

- Kaneko, T., I. Hanyu and Hitose, 1984. Annual reproductive cycle of a tide pool-living goby, *Chasnichthys dolichognathus*. Bull. Japan. Soc. sci. Fish. 50, 1535~1540.
- Kang, D. Y., Y. J. Chang, Y. C. Sohn and K. Aida, 1998. Changes in plasma levels of thyroid and sex steroid hormones in rockfish, *Sebastes schlegeli* during maturation and parturition periods. J. Korean Fish. Soc., 31, 574~580. (in Korean)
- Kime, D. E., Lone, K. P. and A. Al-Marzouk, 1991. Seasonal changes in serum steroid hormones in a protandrous teleost, the sobality, *Sparidentex hasta* (Valaenciennes). J. Fish Biol. 39, 745~753
- Kim, H. B. and J. M. Kim, 1990. Induced spawning of red seabream, *Pagrus major* by controlling photoperiod and water temperature. Journal of Aquaculture. 3(1), 1~11.
- Kim, Y., 1996. Endocrinological control of maturation and ovulation of spotted flounder, *Verasper variegatus*. Department of Biology Graduate School Dongeui University, Pusan, Korea. pp. 142. (in Korean).
- Kim, Y. and S. B. Hur, 1991. Spawning inducement of flounder, *Paralichthys olivaceus* by the control of water temperature and photoperiod. J. Aquacult., 4,85~95. (in Korean).
- Kim, Y. U., 1970. On the characteristics of eggs and larva of *Mylio macrocephalus* (Basilewsky). Bull. Korea. Fish. Soc. 3(4); 233~250. (in Korean).
- Kinoshita, Y., 1935. On the sex conversion of *Sparus longispinis* (Temminck et Schlegel). Zool. Mag. Tokyo, 47, pp. 173.
- Kinoshita, Y., 1936. On the conversion of sex in *Sparus longispinis*. J. Sci. Hiroshima Univ., Ser. B4, 69~79.

- Kinoshita, Y., 1939. Studies on the sexuality of genus *Sparus* (Teleostei). Jour. Sci. Hiroshima Univ., B, div. 1, 4(5), 1~7.
- Ko, C. S., Y. J. Chang, H. K. Lim, J. H. Kim and K. C. Cho, 1998. Controlled reproductive cycle of rockfish, *Sebastes inermis* by water temperature and photoperiod J. Korean Fish. Soc, 31(5), 713~720. (in Korean).
- Kobayashi, M., K. Aida and I. Hanyu, 1986 Gonadotropin surge during spawning in male goldfish, Gen. Comp. Endocrinol. 62, 70~79.
- Kobayashi, M., K. Aida and I. Hanyu, 1986. Annual changes in plasma levels of gonadotropin and steroid hormones in goldfish, Nippon Suisan Gakkaishi 52, 1152~1158.
- Kramer, C. R., S. Koulish and P. L. Bertacchi, 1988. The effects of testosterone implants on ovarian morphology in the blue head wrasse, *Thalassoma bifasciatum* (Bloch) (Teleostei. Labridae). J. Fish Biol. 32, 397~407.
- Lamba, V J., S. V. Goswami and B I. Sundararaj, 1983. Circannual and circadian variations in plasma levels of steroids(cortisol, estadiol-17 $\beta$ , estrone and testosterone) correlated with annual gonadal cycle in the catfish, *Heteropneustes fossilis*(Bloch). Gen. Comp. Endocrinol., 50, 205~225.
- Lee, J. J. and S. Rho, 1987. Studies on the seedling production of the black porgy, *Mylio macrocephalus* (Basilewsky) Bull. Mar. Resour Res Inst. Cheju Nat. Univ., 11, 1~20. (in Korean)
- Lee, J J. and S. Rho, 1988. Studies on the aquaculture of the black porgy, *Mylio macrocephalus* (Basilewsky) by the closed recirculating filtration system. I. Filtration effect and growth. Bull. Mar Res. Inst. Cheju Nat. Univ., 12, 9~17. (in Korean).
- Lee, J. J., S. Rho and U. S. Jo, 1988. Studies on the aquaculture of the black porgy, *Mylio macrocephalus* (Basilewsky) by the closed recirculating

- filtration system. II. Gonadal development and structure. Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat. Univ., 12, 19~28. (in Korean).
- Lee, T. Y. and I. Hanyu, 1984. Reproductive cycle of small filefish, *Rudarius ercodes*. Bull. Kor. Fish. Soc., 17, 423~435. (in Korean).
- Lee, Y. D., A. Takemura and K. Takano, 1999. Sex Reversal and Spermatogenesis in the Honeycomb Grouper, *Epinephelus merra*. 1999. Spring Joint Meeting of the Korean Societies on Fisheries Science. 380~381. (in Korean).
- Lee, Y. D. and T. Y. Lee, 1987. Studies on the reproductive cycle of damselfish, *Chromis notstus* (Temminck et Schlegel). Bull. Korean Fish. Soc., 20, 509~519. (in Korean).
- Lee, Y. D., B. S. Kang and J. J. Lee, 1994. Sex differentiation of the black seabream, *Acanthopagrus schlegeli* (Bleeker). Korean J. Ichthyo. 6(2),237~243. (in Korean).
- Lee, Y. D., C. M. An, J. J. Lee and T. Y. Lee, 1992. Reproductive cycle and sex reversal of *Pseudolabrus japonicus* (HOULTUYN) Bull. Mar. Res. Inst. Cheju nat. Univ., 16, 55~66. (in Korean).
- Lee, Y. D., H. B. Kim, C. B. Song and S. Rho, 1996. Hormonal induction of sex reversal in serranid fish, *Epinephelus septemfasciatus* Journal of Aquaculture 9(1): 19~23. (in Korean).
- Lin, K. J., C. L. Yen, J. Y. Twu, and Y. K. Fang, 1986. Manmade Natural Spawning of Red Sea bream, *Pagrus major* (Temmink and schlegel) and Black Porgy, *Acanthopagrus schlegeli* (Bleeker). Bull. Taiwan Fish. Res. Inst., 40, 258~267.
- Lin, K. J., C. L. Yen, C. Y. Lin, R. M. Jang, J. Y. Twu and Y. K. Fang, 1987. Control of reproduction and spawning in cultured black sea bream,

- Acantopagrus schlegeli* and lined sea bream *Sparus sarba*. In: J. Y. L. Yu, Yu, C. M. Kuo, S. H. Shih and S. J. Chen (Editors), Proc. Symp. Fish Reproduction and its Endocrine Control: Basis and Practical Aspects. COA Fisheries Series No. 7. Taipei Taiwan, pp. 211~225.
- 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.
- Lundquist, H., 1980. Influence of photoperiod on grow in Baltic salmon parr (*Salmo salar* L.) with special reference to the effect of precocious sexual maturation. J. Zool. 58, 940~944.
- MacGregor, R., J. J. Dindo and J. H. Fincane, 1981. Changes in serum androgens and estrogen during spawning in bluefish, *Pomatomus saltator*, and king mackerel, *Scomberomorus cavalla*. Can. J. Zol., 59, 1749~1754.
- Micale, V., F. Perdichizzi and G. Santangelol, 1987. The gonadal cycle of captive white bream. J. Fish Biol., 31, 435~440.
- Miura, T., K. Yamauchi, Y. Nagahama and H. Takahashi, 1991a. Induction of spermatogenesis in male Japanese eel, *Anguilla japonica*, by a single injection of human chorionic gonadotropin. Zool. Sci. 8, 63~73.
- Miura, T., K. Yamauchi, H. Takahashi and Y. Nagahama, 1991b. Hormonal induction of all stages of spermatogenesis in vitro in the male Japanese eel (*Anguilla japonica*). Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. A. 88, 5774~5778.
- Moyer, J. T. and A. Nakazono, 1978. Protandrous hermaphroditism in six species of the anemonefish genus *Amphiprion* in Japan. Japan. J. Ichthyol. 25, 101~106
- Nakamura, M., T. F. Hourigan, K. Yamauchi, Y. Nagahama and E. G. Grau, 1989. Histological and ultrastructural evidence for the role of gonadal steroid



- hormones in sex change in the protogynous wrasse, *Thalassoma duperrey*.  
Env. Biol. Fish., 24, 117~136.
- Nakazono, A. and T. Kuwamura, 1987. Sex change in fishes. pp. 283.
- Ng, T. B. and D. R. Idler, 1983. Yolk formation and differentiation in teleost fishes. In Fish Physiology. Vol. IXA, pp. 373~404. Edited by W. S. Hoar, D. J. Randall and E. M. Donaldson. Academic Press, New York.
- Ohsima, Y., 1942. An ecological note on the fish, *Sparus swinhonis* (Gunther).  
Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 10, 249~256.
- Okada, H., 1973. Studies on sex differentiation of Salmonidae- I. Effects of estrone on sex differentiation of the rainbow trout, *Salmo gairdnerii irideus* (Gibbons). Sci. Rep. Hokkaido Fish. Hatchery (Hokkaido Sake Masu Fukajo Kenkyu Hohoku), 28, 11~21.
- Okada, Y. K., 1965a. Bisexuality in Sparid Fishes. I. Origin of bisexual gonad in *Mylio macrocephalus*. Proc. Japan. Acad., 41(4), 294~299.
- Okada, Y. K., 1965b. Bisexuality in Sparid Fishes. II. Sex Segregation in *Mylio macrocephalus*. Proc. Japan. Acad., 41(4), 300~304.
- Pandian, T. J and S. G. Sheela, 1995. Hormonal induction of sex reversal in fish. Aquaculture. 138, 1~22.
- Pickering, A. D., T. G. Pottinger, J. Carragher and J. P. Sumper, 1987. The effects of acute and chronic stress on the levels of reproductive hormones in the plasma of mature male brown trout, *Salmo trutta* L. Gen. Comp. Endocrinol., 68, 249~259.
- Razani, H. and I. Haynyu, 1986 Annual reproductive cycle of 2-3 year-old female goldfish and its artificial modification by manipulation of water temperature and photoperiod. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. 52, 965~969
- Razani, H. and I. Hanyu, 1986. Effect of continued short photoperiod at warm

- temperature and following changes of regimes on gonadal maturation of goldfish. *ibid.*, 52, 2061~2068.
- Reinboth, 1970. Intersexuality in fishes. In : G. K. Benson and J. G. Phillips (eds.) *Hormones and the Environment*. Mem. Soc. Endocrinol., 18, pp. 515~543. Cambridge Univ. Press.
- Robertson, D. R. and J. H. Coat, 1974. Protogynous hermaphroditism and social systems in labrid fish. *Proc. 2nd Int. Symp. Coral Reefs*. 1, 217~225.
- Sadovy, Y. and D. Y. Shapiro, 1987. Criteria for the diagnosis of hermaphroditism in fishes. *Copeia*, 1987, 136~156
- Scott, A. P., V. J. Bye and S. M. Baynes, 1980. Seasonal variation in sex steroids of female rainbow trout, *Salmo gairdneri* (Richardson). *J. Fish Biol.*, 17, 587~592.
- 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, 1982. Environmental regulation of annual reproductive cycle in a spring-spawning bitterling *Ascheilognathus tabra*. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 48, 1563~1568.
- Shimizu, A. and I. Hanyu, 1983. Environmental regulation of spawning-period in an autumn spawning bitterling, *Pseudoperilampus typus*. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 49, 895~900.
- Shimizu, A., K. Aida and I. Hanyu, 1987. Annual reproductive cycle in an autumn-spawning bitterling, *Acheilognathus rhombea*. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 54, 529~536.
- Takano, K., 1964. On the egg formation and follicular changes in *Lebistes reticulatus*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 15, 147~155.

- Takano, K., 1989. Oogenesis and structure of ovary, in "Monographs on aquaculture science Vol, 4, Reproductive biology of fish and shellfish" (ed. by Takeshima and Hanyu), Tokyo, 1989, pp. 3~34.
- Tanaka, H., 1988. Effects of estradiol-17 $\beta$  on gonadal sex differentiation in Flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 13: 17~23.
- Tang, F., S. T. H. Chan and B. Lofts, 1974. Effects of steroid hormones on the process of natural sex reversal in the ricefield eel, *Monopterus albus* (Zuiew). *Gen. Comp. Endocrinol.* 24, 227~241.
- Ueda, H. A. Kambegawa and Y. Nagahama, 1985. Involvement of gonadotrophin and steroid hormones in spermiation in the amago salmo, *Oncorhynchus rhodurus*, and goldfish, *Carassius auratus*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 59, 24~30.
- Wingfield, J. C. and A. S. Grimm, 1977. Seasonal changes in plasma cortisol, testosterone and estradiol-17 $\beta$  in the plaice, *Pleuronectes platessa* L. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 31, 1~11.
- Yamamoto, T., 1953. Artificially induced sex-reversal in genotypic males of the medaka (*Oryzias latipes*). *J. Exp. Zool.*, 123, 571~594.
- Yamamoto, T., 1969. Sex differentiation. In *Fish Physiology*. Vol. 3, pp. 117~175. Edited by W. S. Hoar and D. J. Randall. Academic Press, New York.
- Yamazaki, F., 1976. Application of hormones in fish culture. *J. Fish. Res. Board Can.*, 33, 948~958.
- Yamazaki, F., 1983. Sex control and manipulation in fish. *Aquaculture* 33, 329~354.
- Yeung, W. S. B. and S. T. H. Chan, 1987a. The plasma sex steroid profiles in the freshwater, sex reversing teleost fish, *Monopterus albus*. (Zuiew). *Gen. Comp. Endocrinol.*, 65, 232~242.
- Yeung, W. S. B. and S. T. H. Chan, 1987b. A radioimmunoassay study of the

plasma levels of sex steroid in the protandrous, sex reversing fish, *Rhabdosargus sarba* (Sparidae). Gen. Comp. Endocrinol., 166, 353~363.

Yu, J. Y. L., J. W. Wang, S. L. Wang, J. Y. Yen, T. S. Huang, S. H. Hu and C. Y. Lin, 1986. Gonadal steroid secretion patterns of black porgy (*Acanthopagrus schlegeli*) during an annual cycle. In: H. K. Mod and H. Y. Chen (Editors), Proc. Symp Marine Biological Science. National Science Council Monograph Series No. 14. Taipei Taiwan, pp. 113~121.

Zhu, Y., K. Furukawa, K. Aida and I. Hanyu, 1989. Annual reproductive rhythm of the tobinumeri-dragonet, *Repomucenus beniteguri* (Callionymidae) in Lake Hamana. Nippon Suisan Gakahishi 55, 591~599.



## 감사의 글

이 논문이 완성되기까지 항상 자상하게 지도해 주시고 저의 인생에 지표가 되도록 이끌어 주시고 14년간 가르침을 주신 노 섬 교수님께 진심으로 감사드립니다. 시간에 쫓기시면서도 풍부한 지식을 전해주시고 장기간 동안 논문을 교열하여 주신 장영진 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 부족한 이 논문을 정성껏 다듬어 주신 이정재 교수님, 이영돈 교수님과 송춘복 교수님께 존경과 감사의 말씀을 드립니다.

86년 입학하여 지금까지 양식이 무엇인지, 수산생물학이 무슨 학문인지 배움의 길을 열어주시고 지도하여 주신 정상철 교수님, 이기완 교수님, 최광식 교수님께 항상 감사드립니다.

어렵고 힘들 때마다 걱정스런 눈빛으로 소주잔을 건네며 “인생은 파도를 넘는 것이다” 라고 항상 조언해 주시며 곁에서 염려해 주신 해양생산학부 노홍길 교수님께 머리숙여 감사드립니다.

어려운 여건 속에서도 학교를 다닐 수 있도록 후원하여 주신 국립수산진흥원 고창순 과장님, 문영봉 과장님과 많은 시간배려를 해주신 백재민 장장님께 감사의 말씀을 드립니다. 가까이에서 연구에 많은 도움을 주신 여수대학교 어병학과 김은희 교수님, 김홍윤 교수님, 진남배양장 이동순 사장님께 감사드립니다. 사육실험과 자료정리에 휴일에도 불구하고 도와주시고 수고를 아끼지 않으신 여수수산종묘시험장 김병학 연구사님, 박재송님, 정동안님, 조수진님, 정영희님께 감사드리고, 실험설계에서부터 자기일처럼 열의를 보여준 김진도 연구사님, 알의 발생과정을 밤을 세워가며 관찰하여 주신 변순규 연구사님, 자료정리하는 동안 전복치패 사육에 전념해 주신 정원화님, 생식소 조직을 제작하는데 많은 도움을 준 전진숙, 주자영님에게 감사드리며, 자료정리에 밤을 세워가며 도와준 제주대학교 어류양식연구실 실원

들과 김원평 후배님, 해양연구소 오성립 후배님께도 감사를 드립니다.

호르몬분석에 많은 도움을 주시고 자상하게 가르쳐 주신 동의대학교 생물학과 한창희 교수님께 감사드리며 대학원생 이재용님, 포항공대 한명숙님과 국립수산진흥원 전임기 부장님, 김 윤 과장님, 호르몬연구소 백혜자 박사님, 정지현, 박준효님께 감사드립니다. 또한, 부산 출장 때마다 많은 이야기를 나눈 김대현 연구사, 부경대학교 정창화 박사님께 감사합니다.

형을 대신해 집안 일을 챙겨준 동희, 항상 행여나 하는 마음으로 걱정하시는 어머니, 광주에 계시는 장인, 장모님, 만삭의 몸으로 출강중에도 불평할 줄 모르는 아내와 열흘 후 태어날 아기와 이 기쁨을 같이 하고 싶습니다.

마지막으로 “너는 양식을 해라” “노 섬 교수님을 찾아가라” 평생 양식업에 종사하시다 회·노·애·락을 겪으시고 자식의 논문과 당신의 손주를 애타게 기다리시다 작고하신, 지금도 가막만 바다를 바라보고 계실 아버지께 이 논문을 받칩니다. 아버지 편히 잠드소서.....

