

박사학위논문

조피볼락, *Sebastes schlegeli*의 출산
조절을 위한 번식기구 제어



제주대학교 대학원

수산생물학과
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

박 무 역

2000년 6월

조피볼락, *Sebastes schlegeli*의 출산 조절을 위한 번식기구 제어

지도교수 노 섬

박 무 억

이 논문을 이학박사 학위논문으로 제출함

2000년 6월

박무억의 이학박사 학위논문을 인준함



심사위원장

장 영 진



위 원

송 춘 북



위 원

김 윤



위 원

이 영 돈



위 원

노 섬



제주대학교 대학원

2000년 6월

**Control of Reproductive Mechanism Related
to Parturition of Black Rockfish,
*Sebastes schlegeli***

Moo-Eog Park

(Supervised by Professor Sum Rho)



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

June 2000

목 차

Abstract

I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	7
1. 어미관리 및 광주기·수온 조절	7
1) 어미확보	7
2) 사육시설 및 관리	8
3) 광주기·수온 조절	11
4) 성장 및 생존율	12
2. 생식세포의 발달과 혈청 성 스테로이드 호르몬의 분석	12
1) 실험어	12
2) 호르몬 추출 및 정량	13
3. 번식주기	14
1) 생식기 구조	14
(1) 정소	14
(2) 난소	14
(3) 교미기	14
2) 생식소중량지수	15
3) 배우자 형성과정	15
4) 교미 및 체내 난발생	16
5) 번식주기	16

4. 출산 조절 및 자·치어 사육	17
1) 출산	17
(1) 호흡수 측정에 의한 출산 예측	17
(2) 광주기·수온 조절에 의한 출산	17
(3) 출산전 가온의 영향	17
2) 자·치어 사육	18
(1) 자·치어 먹이계열	18
(2) 자·치어 사육	20
(3) 선별효과	20
3) 자·치어 활력평가	21
(1) 기아시 생존활력지수	21
(2) 공기노출 내성	21
5. 통계처리	22



Ⅲ. 결 과	23
1. 어미관리 및 광주기·수온조절	23
1) 광주기·수온 조절	23
2) 사육환경	26
3) 성장 및 생존율	28
2. 생식세포의 발달과 혈청 성 스테로이드 호르몬의 월 변화	34
1) 수컷	34
2) 암컷	36

3. 번식주기	40
1) 생식기 구조	40
(1) 정소	40
(2) 난소	43
(3) 교미기	43
2) 생식소중량지수 월 변화	48
(1) 수컷	48
(2) 암컷	48
3) 배우자 형성과정	50
(1) 정자	50
(2) 난자	55
4) 교미 및 체내 난발생	61
(1) 교미	61
(2) 체내 난발생	64
5) 번식주기	64
(1) 수컷	67
(2) 암컷	67
4. 출산 조절 및 자·치어 사육	68
1) 출산	68
(1) 호르몬 측정에 의한 출산 예측	68
(2) 광주기·수온 조절에 의한 출산	68
(3) 출산전 가온의 영향	71
(4) 출산시각	77
2) 자·치어 사육	78
(1) 성장	78

(2) 생존율	79
(3) 선별효과	79
3) 자·치어 활력평가	84
(1) 기아시 생존활력지수	84
(2) 공기노출 내성	87
IV. 고 찰	91
V. 요 약	108
VI. 참고문헌	111
감사의 글	129



Abstract

1. Control of rearing conditions for black rockfish breeders and change in their sex steroid hormone concentration

Total 370 adult fish of the black rockfish, *Sebastes schlegeli* were used as a broodstock for this experiment. To set different rearing conditions, the breeders were divided into four groups, two for the treatment and two for the control. Each fish group was cultured in a 5-ton fish tank which was facilitated at Marine Research Institute, Cheju National University.

An artificial control of reproductive cycle has been performed based on photoperiod and seawater temperature. In the tank with treatment fish group, day length was maintained on 9 hr light per day (9 hr light and 15 hr dark; 9L : 15D) during the copulation period and then it was gradually increased to 14 hr per day (14L : 10D) during the parturition period. Meanwhile, water temperature was maintained to be 12~13°C during the copulation period. Later, it was dropped to the lowest water temperature of 9~11°C and was then gradually increased to 14~15°C at which the parturition was initiated.

Radioimmunoassay (RIA) for monitoring sex steroid hormones in the serum indicated as followed: in the female, when the ovary was filled with oocytes, more than 400 μm in diameter, having yolk granules, the maximum values in both testosterone and estradiol-17 β concentrations

were observed in November from the treatment group and in February from the control; in the male, when the testis was mainly occupied by spermatogonia and spermatids, relatively higher values in testosterone concentrations were maintained between August and October from the treatment group and then abruptly decreased in November when copulation was finished.

2. Reproductive cycle

Gonadosomatic index (GSI) of male was maintained about 0.12 from January to August without remarkable changes and then reach the maximum value in October from treatment fish group (GSI: 1.27) and in November from the control (GSI: 1.36). On the other hand, GSI of female was 1.8 in January and 4.3 in April, and then maintained relatively lower values until August. Later, it was increased to the maximum value in February from treatment group (GSI: 42.0) and in April from the control (GSI: 46.5).

In June, the testis was composed of numerous seminiferous tubules in the medullary layer, which were branched at the basal region, and groups of spermatogonia and spermatids were distributed around the tubules. In August, spermatocytes and spermatids were actively developed within the testis of the treatment fish group. Duct deferens located at the basal region of testis was filled with numerous sperms in October, but only a

few remaining sperms that were not ejaculated yet were observed from the seminiferous tubules in November. In February, the testis came to be a resting stage and was occupied by spermatogonia. In female, young oocytes were distributed within the ovary observed in June and the number of young oocytes was increased in August. In October, yolk granules were accumulate in the oocytes and group of sperms were sometimes distributed at the germinal epithelium which was located among oocytes in November. The development of the fertilized eggs in the ovary was observed in January and then newly hatched larvae having a yolk sac were appeared in the ovary from the end of February.

While approaching to the copulation period, copulation organ of the black rockfish male became larger and the color of its edge was changed from milky white to deep red. In female, the color around genital opening became purple as a result of congestion and a few sperms were located at the interstitial germinal epithelium of the ovary. Thus, copulation time was predicted by the change in the external morphology of copulation organ, as well as in the color of the female and male sex organ.

When considered spermatogenesis in the testis, and egg development, copulation, fertilization, and larval development in the ovary, the reproductive cycle of black rockfish could be divided into the following successive stages from the control: in male, growing stage (June~August), mature stage (September~October), copulation stage (November), resting stage (December~February); in female, resting stage (May),

growing stage (July~January), mature and copulation stage (November ~March), and pregnancy and parturition stage (April). The pattern of egg and testis development was not much different from between treatment and control fish group. However, testis development in treatment group proceeded one month earlier than the control fish group, whereas fertilization, egg development, and parturition in treatment group did 38 days earlier than the control from the first trial. During the second trial, parturition in treatment group occurred 78 days earlier than the control.

3. Parturition condition and growth of larvae and juveniles

The abdomen of black rockfish females which were ready to parturition became swollen into soft curve centered on the part of genital pore and slightly hang down to the rear. Also, opercula movement became fast gradually. At the water temperature of 13.5~13.8°C, the number of opening and shutting opercula movement of the large female (2.2~2.9 kg in body weight) and small female (1.6~2.0 kg in body weight) was 47~48 times and 50~54 times per minute, respectively. The young black rockfish have grown to be 13.1 ± 1.5 mm in total length 42 days after the parturition when the rearing water temperature was maintained between 13.5~14.2°C. Seventy days of culture after parturition, large size group reached to 5.2 ± 0.4 cm, medium size group to 3.4 ± 0.4 cm, small size group to 2.0 ± 0.2 cm in total length.

I. 서론

조피볼락, *Sebastes schlegeli*을 포함하는 볼락속 어류는 북태평양을 중심으로 전세계에 106종이 분포한다고 알려져 있다. 이중 북아메리카(미국과 캐나다) 서부연안에 69종, 일본에서 대만 남부연안에 걸쳐 32종(한국은 19종)이 분포하며, 북대서양에는 4종, 그리고 남반구에 1종이 각각 분포하고 있다. 온대 및 아열대의 대륙붕 혹은 대륙경사면에 있어서 주요 어류상으로 중요한 위치를 차지한다(Kendall et al., 1984). 볼락류는 *S. emphaeus*와 같이 수명이 짧고, 천해성인 소형 어류와, *S. marinus*, *S. alutus* 그리고 *S. entomelas*와 같이 수명이 길고, 떼를 지어 다니는 대형 어종으로 분류된다(Moulton, 1975).

조피볼락은 횡대목, 양볼락과, 볼락속에 속하는 어류로서 동남아 연안, 즉 한국의 청진 이남 및 일본 홋카이도 이남, 중국 연안에 분포하며, 수심 100 m 내외의 천해 암초나 인공어초 등에 서식하는 새끼를 낳는 어류이다(Chyung, 1977).

볼락류에 속하는 어류들은 상업적인 어업이나, 낚시 대상종으로 대부분을 차지하고 있어 미국에서는 최근 어업자원으로서 볼락류에 대한 관심이 고조되어 있고, 자원관리와 어업생산에 관한 연구도 이루어지고 있다(Boehlert et al., 1986). 일본에서는 연안자원을 보충하기 위하여 재배어업에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 또한 최근에는 활어 출하에 의한 고가매입에 자극되어 양식사업도 각지에서 이루어지고 있다. 우리 나라에서는 남획으로 인한 연안의 자원 고갈로 육상 및 가두리 양식이 많이 이루어지고 있다 볼락류의 세계 어획량은 1971년 768,481톤에서 1986년 483,733톤으로 급격하게 감소하는 경향을 보이고 있다(FAO, 1977, 1988).

우리 나라에서도 자연산 볼락류의 생산은 급격히 감소하는 반면, 양식산 볼락류의 생산량이 증가하여, 볼락류의 연간 생산량이 5,500톤에서 6,500톤에 이르고 있다. 조피볼락의 경우 양식 생산량이 1992년부터 단일 어종으로서 생산통계에 기재되기 시작하였으며, 1992년 666톤에서 1995년 985톤으로 생산량이 증가하였지만, 그외의 볼락류는 174톤으로 감소하는 경향을 보이고 있다(Korean fisheries yearbook, 1995)

볼락류에 대해서는 세계적으로 관심이 높아 *S. marinus*의 자원 감소에 따라 북아메리카에서 *Sebastes* sp.에 관한 연구의 일환으로 제1회 *Sebastes*에 대한 국제 심포지움이 개최된 바 있다(Trout, 1961). 또한 연안 자원으로서 볼락류에 대한 관심이 증가하고, 보다 발전된 연구가 시작되었다(Phillips, 1964) 특히 북아메리카 서부 연안에서 연안 생태계의 일원으로서 그 중요성이 인식되어 생활사가 연구되었다. 볼락류의 초기 연구로는 배와 자어의 발달(Fujita, 1957, Shiokawa and Tsukahara, 1961), 자어와 치어의 생태(Ahlstrom, 1961; Sasaki, 1976, Hoshiai, 1977, Moser and Ahlstrom, 1978), 연령, 성장과 성숙(Mizue, 1957, Harada, 1962), 배우자 형성을 포함하는 생식주기와 번식(Moser, 1967, Igarashi, 1968, Boehlert and Yoklavich, 1984), 성어의 습성과 생태(Larson, 1980), 그리고 저서 치어의 생태와 에너지 수지(Boehlert and Yoklavich, 1983) 등에 관련된 연구가 활발하게 이루어졌다.

조피볼락의 생태에 대한 연구는 일본의 홋카이도 수산시험장에서 많이 이루어졌다(Kusakari et al, 1977). 조피볼락을 포함한 5종의 볼락류 생식을 중심으로 생활사와 모체내 자어의 보육 과정이 Sasaki (1974)에 의해 연구되었으며, 또한 조피볼락의 출생직후 자어의 관찰은 鳥島 等(1975)에 의해 처음 이루어졌다 이후 Yamada and Kusakari (1991)의 배 발생 과정에 관한 연구, Hoshiai (1977)의 자·치어에 관한 연구, 草刈·森(1977), 草刈 等(1979)의 출산 생태에 관한

연구, 佐々木(1981)의 종묘생산과 양성에 관한 연구를 찾아볼 수 있다.

국내에서 볼락류에 대한 연구로는 솜뱅이, *Sebastiscus marmoratus*의 연령과 성숙(Chang and Kim, 1991), 볼락, *Sebastes inermis*의 연령과 성장(Kang, 1982), 볼락의 생식과 체내발달(Lee and Kim, 1992)에 관한 연구들을 찾아볼 수 있다. 한편 조피볼락에 대한 연구는 Kim and Han (1991)의 초기 생활사, Park et al (1993)의 자어 출산과 초기 성장에 관한 연구, Lee and Chang (1994)의 어린 시기의 성장 및 체성분 조성에 미치는 미역 첨가사료의 생리적 효과에 관한 연구, Chung et al. (1995)의 조피볼락 성숙에 따른 간세포 활성화와 간 및 근육의 단백질·총 RNA 함량변화, Lee et al. (1996)의 성분화, Yang (1985)의 색광에 대한 반응 등이 보고되어 있다.

볼락류의 생식에 관한 연구로서 임신시 내분비 조절에 대하여 탁자볼락, *S. taczanowskii*과 조피볼락의 생식과 관련된 혈청 호르몬의 농도 등에 관한 연구가 보고된 후(Nagahama et al., 1991), 성성숙 시기에 따른 교미 및 체내 수정 그리고 체내 자어의 발달과 출산이라고 하는 다양한 번식 과정에 대해서 보고하였으며, 또한 Kang et al. (1998)은 조피볼락의 성숙·출산기에 갑상선 호르몬 및 성 스테로이드 호르몬의 변화에 대해서 보고하였다(Takemura et al., 1995). 태생과 관련된 내분비 기작은 번식과 관련하여 태생 경골어류의 진화에 중요한 단서를 제공하고 있다(Turner, 1942; Wourms et al., 1988). 볼락류에서 *S. melanops*와 조피볼락은 완전한 난황의존형에 속하지 않으나, 모체-배에 관련된 태생 경골어와 비교하면 상대적으로 원시적 단계로 보고되고 있다(Boehlert and Yoklavich, 1984; Boehlert et al., 1986).

어류의 성성숙에 영향을 미치는 환경요인에 관한 초기 연구는 1937년 Hoover에 의하여 조류, 양, 사슴 등의 번식시기에 영향을 미치는 야간조명의 연구에서 암시를 얻어, 송어, *Oncorhynchus masou*와 연어류의 성숙과 산란에 대한

환경영향을 조사 하였다(隆島, 1982). 이후 꾸준히 연구가 진행되어 현재 수종의 담수 경골어류에서 환경요인의 주기적 변화가 어류의 생식주기 현상을 지배하며, 특히 광주기와 수온이 성중추 활동을 강하게 제어하고 있음을 보고하고 있다(De Vlaming, 1972a, 1975; Nishi, 1979; Nishi and Takano, 1979; Asahina et al., 1980; Shimizu and Hanyu, 1982, 1983, 1993; Asahina and Hanyu, 1983, 1985, 1991, Nakari et al., 1986; Razani and Hanyu, 1986a, b). 또한 이들 성중추 활동을 조절하는 환경인자로 밝혀진 빛과 수온의 작용 양식에 따라 어류의 번식 계절이 춘계산란형, 춘하계산란형, 추계산란형, 동계산란형으로 구분·보고되고 있다(Shimizu and Hanyu, 1983).

우리 나라에서도 외적 환경 요인중 빛과 수온이 생식주기 성립기구에 미치는 영향에 관한 실험적 연구들을 볼 수 있고(Lee et al., 1984; Baek and Lee, 1985; Lee and Kim, 1987), 특히 Min (1988)은 광주기 조절을 통하여 실내에서 자연산란을 유도하는 연구를 하였으며, Kim and Hur (1991)는 광주기 및 저수온을 이용하여 조기산란을 유도하고 산란시기를 조절하는 연구를 한 바 있다.

효율적인 어류 종묘생산을 위한 일련의 연구에서 Murray (1971)는 사육환경 중에서도 먼저 온도는 동물의 대사과정, 적정온도 및 적응성과 같은 생리·화학적 반응과 물리적 과정 등에 영향을 주는 중요한 요인으로 보고하고 있다. 특히, 수온은 어류와 같은 변온동물의 대사작용에 큰 영향을 미치기 때문에(Fry, 1971; Hunter, 1981, Herzig and Winkler, 1986), 양식용 종묘를 생산하거나 양성하는 데 있어서 가장 먼저 적정수온을 파악해야 한다. 여러 어종의 수온에 대한 선택성(Britz and Hecht, 1987), 적정수온(Hoornbeek et al., 1982; Bry et al., 1991)을 비롯하여 수온과 섭식된 사료 효율성과의 관계(Corey et al., 1983; Goolish and Adelman, 1984) 등에 관해 많은 연구가 진행되어 왔다. 그리고 성어와는 달리 자·치어를 사육하는 데 있어서 성장에 필요한 적절한 종류의 먹이

생물을 적정시기에 공급하는 것이 중요하고, 자어가 먹이를 먹을 수 있는 능력이 생기기 전에 먹이를 주게 되면, 많은 시간이 경과한 후 자어가 먹이를 섭취하는 시기에는 공급된 먹이생물의 영양소비로 인하여 먹이효과도 떨어질 뿐 아니라 수질의 악화를 초래하기 쉽다고 지적하고 있다(Johnson and Katavic, 1986). 따라서 자어의 첫 먹이 공급이 가장 바람직한 시기는 모든 개체가 섭식에 참여하는 시기로서, 회복할 수 없는 기아상태(irreversible starvation)가 시작되는 point-of-no-return (PNR)에 이르기 전에 공급해야 한다(Lasker et al., 1970; May, 1971). 또한 자·치어의 종묘생산 과정 중 대량 폐사하는 위험기(critical period)가 있다고 연구자들에 의해 보고된 바 있다(山下, 1967; 岡本, 1969; 平野, 1969; Lee et al., 1989). 이러한 요인은 외부 먹이의 크기, 모양, 영양 및 공급 밀도 등 먹이의 양과 질에 의해 좌우된다. 그러나 종묘생산 기술이 발달하게 되면서 이러한 먹이에 의한 문제점이 크게 개선되어 critical period가 현저히 줄어들었다(椋田·落合, 1975) 그럼에도 불구하고 부화 또는 출산 10일 이내 자어의 높은 초기 폐사원인은 난황을 대부분 흡수한 상태에서 적절한 먹이를 섭취하지 못했기 때문에 일어나는 것으로 보고하였다(岡本, 1969; 平野, 1969; 椋田·落合, 1975).

조피볼락은 타 어종과 달리 저수온에 강한 반면, 여름철 고수온에 약하다. 특히 2년째의 고수온기에 폐사가 많기 때문에 가능하면 고수온기 이전에 상품성이 있는 크기로 길러서 출하할 수 있는 기술 개발이 절실하게 요구되고 있다. 따라서 조피볼락 양식산업의 활성화를 위해서는 양식대상 어종의 고부가 가치를 높이기 위하여 수역에 따라 양식 경영에 유리한 시기에 안정된 종묘생산을 위한 연구와 기술개발이 필요한 실정이다.

이 연구의 목적은 조피볼락의 건전한 종묘를 필요한 시기에 안정적으로 공급하기 위하여, 성성숙의 인위적 제어(광주기·수온 조절)를 통한 어미 관리와

생식소의 발달, 암·수의 교미시기, 체내 자어의 조기 출산 조절, 암컷의 성 성숙과 배발달에 미치는 환경요인의 파악, 인위적 환경요인(광주기·수온 조절)의 제어에 따른 성 스테로이드 호르몬의 활성변화, 어미의 출산일자 예측 및 조기 출산된 자·치어의 생태동을 조사 분석하였다.



II. 재료 및 방법

조피볼락, *Sebastes schlegeli* 조기 종묘생산을 위한 번식기구의 인위제어 실험은 제주대학교 해양연구소에서 1996년 1월 1일부터 5월 30일까지 예비 사육을 한 후, 1차실험은 광주기 조절을 6월 1일부터, 수온 조절을 8월 1일부터 실시하여 1997년 4월 30일까지 조사하였다. 2차실험은 1차실험에서 얻어진 결과에 따라 교미시기를 40일 앞당긴 1997년 8월 20일부터 1998년 2월 28일까지 실시하였다.

1. 어미관리 및 광주기·수온 조절

1) 어미확보

실험에 사용된 어미는 1995년 12월 30일과 1996년 4월 8일 제주도 남제주군에 위치하는 민간 육상 수조에서 사육중인 전장 42.1 ± 1.9 cm, 체중 1234 ± 171 g인 암컷 180마리와 1996년 3월 30일 경상남도 통영시에 위치하는 한국해양연구소의 해상가두리에서 사육중이던 전장 32.2 ± 1.5 cm, 체중 584 ± 79 g인 수컷 190마리를 실험어로 구입하였다.

구입한 어미는 활어차를 이용하여 제주대학교 해양연구소로 운반하였으며, 운반된 어미들은 연구소내 5톤 원형 FRP 수조(직경 3 m × 높이 1.5 m)에 수용하였다. 운반 후 어미들은 운반중의 외상으로 인한 세균성 질병을 예방하기 위하여, 항생제의 일종인 시판용 엘바쥬를 100~150 ppm의 농도로 2시간 동안 약욕을 하고, 10일 동안 안정시킨 후, 실험수조에 수용하였다. 한편 통영에서 구입한 수컷은 흡충류에 속하는 요각류, *Alella macrotrachelus*가 체표 및 아가미 등에서 다수 발견되었으며, 이 흡충류로 인해 섭식이 불량하고 폐사하는 개체가

출현하였다. 따라서 이 흙충을 구제하기 위하여 formalin 100 ppm에서 매일 1시간씩 3일간 연속 약욕하였으나, 효과가 없어 담수에서 30~40분 처리하여 흙충을 완전히 구제하였다. 또한 흙충을 구제한 후 세균성 질병을 예방하기 위해서 oxytetracycline 100 ppm에 1시간 동안 약욕하여 건강한 어미를 실험에 사용하였다.

2) 사육시설 및 관리

사육시설은 성성숙 인위제어에 따른 어미의 조기출산을 유도하기 위하여 인위적인 환경제어(빛·수온)가 가능한 폐쇄식 순환여과 시스템을 이용하였으며, 사육수조(A₁, A₂, A₃, A₄) 및 여과조(C, D, E, F)의 구조와 배치는 Fig. 1과 같다.

사육수조(A)는 직경 3 m×수심 1 m인 FRP 원형수조 4개(A₁, A₂, A₃, A₄)를 처리구(A₁, A₂)와 대조구(A₃, A₄)로 나누어 사용하였다. 수조 바닥은 약 6%의 경사를 중앙으로 주었고, 수조 바닥의 중앙에는 원뿔형 배수장치를 설치하였다. 그리고 각 수조의 수량은 약 5톤으로 조정하였다. 사육수조 A₁, A₂는 처리구로서 광주기 [light/dark (L/D)] 와 수온을 인위적으로 조절할 수 있도록, 수조의 윗부분을 이중 차광막으로 씌워 외부의 빛이 차단되도록 하였다. 광주기 조절을 위한 광원은 200 W 나트륨등 1개를 사육수조 중앙의 수면 상단 2 m에 매달고, 광량은 수조 중앙의 수표면이 250 lux, 수조 가장 바깥쪽이 200 lux가 되게 하였고, 광주기는 timer를 설치하여 조절하였다. 그리고 수온 조절은 heat pump를 사용하였다. 한편, 대조구 A₃, A₄에는 자연해수를 수조내에 직접 주수하여, 자연광주기와 자연수온이 그대로 유지되도록 하였다.

침전조(B)에서는 FRP 원형수조(직경 1.6 m×수심 1.4 m)로서 2개의 사육수조(처리구, A₁, A₂)에서 나오는 고형의 오물이 가라앉도록 하였으며, 상부의 맑

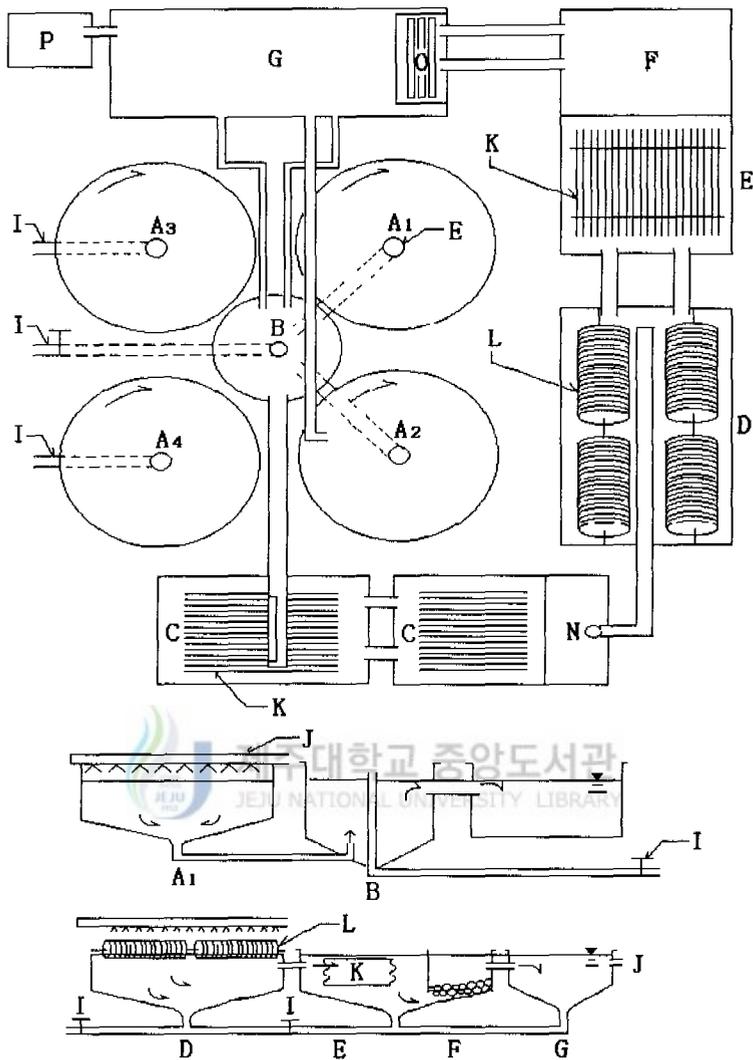


Fig 1 Schematic diagram of closed recirculatory rearing system for experiment showing plan view (upper) and side view (lower).

A₁~A₄: rearing aquariums (dia. 3×1.0 m), B: sedimentation chamber (dia. 1.5×1.4 m). C, D, E, F: biological filter chamber (C . 2×6×1.2 m, D, E, F . 4×1.5×0.9 m); G: storage tank (4×1.5×0.9 m); H: hole plate; I: drain valve; J: inlet pipe (dia. 50 mm); K: chloride vinyl plate; L: rotating discs; M: supplementary pipe (100 mm); N: main pump (2HP); O: ultraviolet lamp; P: heat pump, SF: sand filtering sea water

은 물만 여과조(C)로 흘러 들어가게 하였다. 여과조 C는 FRP 사각수조(2 m×15 m×0.9 m) 2개로서 염화비닐 사각파판(1.8 m×0.9 m)을 2 cm 간격으로 조립 수하하여 여과생물이 부착할 수 있도록 하였다. 여과조 D에는 사각 FRP(4 m×15 m×0.9 m)수조로 수조 위에 염화비닐 파판을 직경 0.9 m의 원형 disc를 만들어 파판의 주름이 서로 직각이 되도록 168매를 1조로 조립한 것을 4조로 설치하였으며, 여과조 C에서 여과된 물을 2 HP펌프를 이용하여 PVC pipe를 통하여 살수시켜 회전원판이 분당 5~6회전되도록 하였다. 여과조 D와 E는 동일한 크기의 FRP 사각 수조로서 내면적의 2/3 부분(K)은 여과조 C와 같은 구조이고, 나머지 1/3 부분(F)은 모래(직경 0.2~0.3 cm)와 자갈(직경 3~4 cm)층을 만들어 역 여과가 되도록 설치하여 최종적으로 기계적 여과 기능을 보완하여 생물학적 여과를 강화하였다. 각각의 여과조를 거쳐 여과된 물은 저수조(G)로 유입되도록 하였으며, 유입되는 부분(O)에는 자외선(30 W, 4개)을 조사하여 사육수를 최종 살균하였다

실험기간동안 사육수조내의 수질측정은 매일 오전 10시를 기준으로 수온, 염분, DO, pH를 조사하였다 수온은 봉상온도계로, pH 및 용존산소는 pH meter (HANNA Instrument HI9321)와 DO meter (HANNA Instrument, HI 9143)로, 염분은 고정도염분계(T S.-digital lab. salino meter model 3-G)를 사용하여 측정하였다.

실험어로는 예비사육을 통하여 외상이 없고, 흠충류의 구제가 끝난 조피볼락 암·수 어미를 선별하여 68마리(암컷 26마리, 수컷 42마리)씩 각각 4개 수조(수량, 5톤)에 수용하였다.

사육수는 전 처리구 모두 동일하게 17~18회/1일 순환시켰으며, 먹이로는 냉동 전갱이, *Trachurus japonicus*를 어미 체중의 2~3%씩 2일 간격으로 투여하였다

3) 광주기·수온 조절

성성숙 인위제어를 위한 환경조건(광주기·수온)은 남해안의 자연산 조피볼락 번식시기를 토대로 광주기와 수온 조절에 대한 time table을 만들어 이 조건 아래에서 사육하였다(Table 1). 인위적으로 환경을 제어하여 실시한 성성숙 유도는 3~4월경에 출산을 마친 암컷과 수컷을 사용하여 조사하였다. 1차실험에서 광주기 조절은 6월 1일부터 15L · 9D의 장일조건에서 10월 중순에 9L : 15D의 단일조건으로 명기를 줄인 후, 다시 점차 명기를 늘려 1월 중순에는 자연산란 조건인 12L : 12D로 조절하였다.

Table 1 Conditions of photoperiod and water temperature for artificial control of reproductive cycle during the experimental period

Months	May	Jun	Jul	Aug	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
L/D treatment		↑ 15L/9D				↑ 9L/15D				↑ 12L/12D	↑ 14L/10D
Temperature treatment	Natural temperature	20°C →	19 ↓	16°C ↓	14°C ↓	9°C ↓	12°C ↓	14°C ↓			
			18	15	12	10	13	15			
			17		10	11					
Induction		↑ Start				↑ Copulation			↑ Fertilization	↑ Parturition	

L/D : Light/Dark

수온조건은 7월까지 자연조건인 20℃를 유지하였으며, 8월부터는 수온을 19℃에서 9월 16℃로 점차 수온을 감소시키고, 10월초까지 14℃로 조절한 후, 일조시간이 최단시간인 10월 중순부터 12월초까지 수온을 12~9℃까지 내린 후 다시 수온을 서서히 올려서 2월 중순에 14~15℃가 유지되도록 조절하였다.

2차실험에서는 1차실험에서 얻어진 결과에 따라 교미시기를 40일 앞당긴 1997년 8월 20일부터 수온과 광주기를 time table에 의하여 1차년도와 동일한 방법으로 조절하였다.

4) 성장 및 생존율

조피볼락 암수 어미의 성장도 측정은 매월 1회 실시하였다. 전장은 어체 측정판을 사용하여 0.1 mm 단위까지 계측하였으며, 체중은 전자저울(Satorius BP 8100)을 이용하여 0.01 g 단위까지 계량하였다. 그리고 비만도(condition factor)는 다음 식을 이용하여 구하였다.

$$\text{비만도} = (\text{BW} / \text{TL}^3) \times 100$$

BW : body weight, **TL** : total length

2. 생식세포의 발달과 혈청 성 스테로이드 호르몬의 분석

1) 실험어

인위적 환경조건하에서 사육관리 중인 조피볼락 어미의 생식소 성숙 정도를 알기 위하여 대조구와 함께 매월 암·수 5~6마리(암컷: 전장 42.5 ± 1.9 cm, 체중

1234±171 g, 수컷: 전장 32.2±1.5 cm, 체중 584±79 g)를 무작위로 추출하여 전장 및 체중을 계측한 다음 채혈하였으며, 채혈 후 각 개체는 생식소 성숙상태 관찰에 사용되었다.

혈액은 원심분리 후(4°C, 3,000×G, 15 min) 상층의 혈청을 채취하여 내분비 호르몬을 분석할 때까지 -70°C에서 냉동 보관하였다.

2) 호르몬 추출 및 정량

스테로이드 호르몬의 추출은 각 분석대상 호르몬 당 혈청 250 μ l를 채취한 다음, 2 ml의 diethyl ether를 첨가하여 잘 혼합한 후 5~10분간 안정시킨 뒤 -70°C의 냉동고에서 15분간 결빙시켰다. 이후 상층의 유기용매층(free steroid)만을 시험관에 옮겨 원심농축기로 완전 건조시켰으며, 위의 추출과정을 2회 반복 실시하였다. 완전 건조된 스테로이드 추출물은 1 ml의 0.1% gel-PBS (pH 7.5)에 다시 용해한 후, Aida et al (1984)의 방법에 따라 방사면역측정법 (radioimmunoassay, RIA)으로 분석하였다.

처리구별 혈중 성 스테로이드 호르몬의 농도 변화는 암컷의 경우 progesteron, 17 α -hydroxyprogesterone (17 α -OHP), testosterone (T), estradiol-17 β (E₂), 수컷의 경우 T 분석만으로 조사하였다.

Progesterone, 17 α -OHP, T에 대한 항체는 Sigma 제품을 사용하였으며, E₂에 대한 항체는 프랑스 INRA(국립농업연구소)로부터 제공받은 것을 사용하였다.

방사면역측정은 0.0075~3.84 ng/ml까지 10단계로 만들어진 standard와 시료를 각각 200 μ l에 ³H으로 방사표지된 스테로이드(Amersham 제품)를 100 μ l (약 12,000 cpm)씩 첨가 후 회석 항체를 200 μ l씩 넣고 교반시켜 4°C에서 12시간 동안 반응시켰다. 항원, 항체의 결합형과 유리형을 분리하기 위해 DCC (dextran

coated charcoal)를 250 μ l씩 첨가하여 4℃하에서 15분간 방치한 후 원심분리 (4℃, 2,000×G, 15 min) 한 뒤, 결합형 상등액을 취하여 여기에 3 ml의 scintillation cocktail (optiphase, WALLAC)를 넣고 액체섬광계측기로 측정하였다

3. 번식주기

1) 생식기 구조

(1) 정소

수컷 정소의 내부구조는 생식소의 성숙정도를 알기 위해 매월 무작위로 추출한 5~6마리의 조피볼락을 대상으로 조사하였다. 정소의 외부형태는 해부를 하여 육안으로 조사한 후, 사진 촬영을 하였으며, 내부구조는 조직표본을 검경하여 조사하였다.



(2) 난소

암컷 생식기의 외부 및 난소의 내부구조는 생식소의 성숙정도를 알기 위해 매월 무작위로 추출한 5~6마리의 조피볼락을 대상으로 조사하였다. 생식기의 외부형태는 육안으로 조사한 후, 사진 촬영을 통하여 조사하였으며, 난소의 내부 형태 및 구조는 해부를 하여 육안으로 관찰한 후, 조직표본을 만들어 검경하였다.

(3) 교미기

수컷 교미기의 관찰은 생식소의 성숙정도를 조사하기 위해 매월 무작위로 추출한 5~6마리의 조피볼락을 대상으로 미성숙기, 성숙기 그리고 교미시기 3단계로 나누어서 조사하였다. 조사내용은 교미기의 돌출상태, 교미기에 출현하는

색채, 팽만정도를 조사하여 사진 촬영을 하였으며, 또한 정소내부의 완속한 정자의 충만여부는 조직표본을 만들어 조사하였다.

암컷의 생식기 관찰은 미성숙기, 교미시기, 성숙기 그리고 출산시기 4단계로 나누어서 조사하였으며, 특히 교미시기에는 암컷 생식공 주변부위의 충혈과 난소강내의 정자보유 여부를 조직표본을 통해 조사하였다.

2) 생식소중량지수

처리구와 대조구의 생식소 발달정도를 알기 위하여 매일 무작위로 추출한 5~6마리의 조피볼락의 대상으로 어체의 체중과 체장을 측정 한 후, 혈중 호르몬 분석을 위해 혈액을 채취했다. 혈액을 채취한 후 생식소를 절취하여 생식소중량지수(gonadosomatic index : GSI)를 구하였다. GSI 조사를 위해 생식소 무게는 전자 저울(Satorius BP 8100)로 0.01 mg 단위까지 측정하였고, 다음식을 이용하여 GSI를 구하였다.

$$\text{생식소중량지수(GSI)} = \text{생식소 중량} \div (\text{체중} - \text{생식소 중량}) \times 100$$

3) 배우자 형성과정

조피볼락의 배우자 형성과정을 파악하기 위하여 교미시기로 추정되는 10월과 11월에는 15일 간격으로 2회에 걸쳐 채집하였고, 그 외에는 매일 암·수를 5마리씩 채집하여, ethyl aminobenzoate로 마취시켜, 전장과 체중을 측정하고, 생식소를 절취한 후 Bouin 용액에 24시간 고정된 다음 고정시간 만큼 수세하였다. 생식소를 소편으로 잘라 ethyl alcohol 농도에 따른 탈수과정을 거친 후 xylen으로 paraffin 유도를 하였다. 그 후 paraffin에 포매하여 마이크로톰으로 5~6 μm 절편을 만들어 slide glass에 부착하였다. 이후 Hansen's haematoxylin과 0.5% eosin으로 비교 염색하여 조직표본을 제작한 다음 광학현미경으로 검경하였다.

4) 교미 및 체내 난발생

조피볼락의 교미시기 파악은 성숙 유도를 위해 수조에서 사육중인 수컷의 생식기 돌출상태 및 생식기의 팽만 정도와 색채로써 조사하였으며, 정소내부에 완숙정자의 총만 등을 조직표본을 통하여 검경하였다. 교미시기는 수컷 교미기 선단부의 충혈, 정소 내부조직상의 방정흔적 여부 및 교미직후 수컷의 배가 훌쭉해진 체형이 많이 출현하는 시기에 몇 개체의 암컷을 샘플하여 난소강내의 정자보유 여부로서 교미시기를 확인하였다.

체내 난발생은 교미 후 난소내 알의 성숙과 수정 및 초기발생을 정기적으로 조직·생리학적으로 조사하였으며, 또한 교미 후 매일 1~2마리를 무작위로 추출하여 암컷의 생식공 내에 주사기를 삽입하여 난소내 알을 채취하여 검경하였다.

5) 번식주기



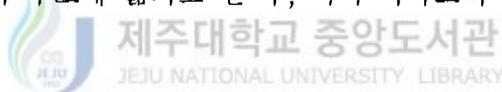
번식주기는 5톤 원형 FRP수조(직경 3 m×높이 1.5 m)에서 사육중인 조피볼락을 매일 5마리씩 채집하여 암컷과 수컷의 배우자 형성과정을 조사하였다. 번식주기 구분은 Bae et al. (1998)의 방법에 따라서 생식소내 생식세포 발달양상과 체내 수정 및 발달을 토대로 성장기(growing stage), 성숙기(mature stage), 완숙 및 교미기(ripe and copulation), 그리고 휴지기(resting stage) 4단계로 구분을 하였다. 암컷의 경우에는 성장기, 교미 및 성숙기, 그리고 임신 및 출산기(gestation and parturition), 휴지기 4단계로 구분하였다. 실험에 사용된 어미는 암컷(전장 42.1~47.4 cm, 체중 1217~1840 g)은 33마리, 수컷(전장 325~37.9 cm, 체중 584~756 g) 22마리였다.

4. 출산 조절 및 자·치어 사육

1) 출산

(1) 호흡수 측정에 의한 출산 예측

출산용 어미조에서 사육중인 어미중에서 출산이 가까워져 복부의 팽만 상태가 좋은 어미들부터 별도의 수조에 관리하였고, 처음에는 출산 20일전부터, 그 다음은 출산 8일 전후로 추정되는 시기에 분당 호흡수가 36회 이상되는 때부터 매일 10회 정도로 분당 호흡수를 측정하여 개체의 평균 호흡수를 산정한 후, 소수점 이하는 반올림하여 정수로 표시하였다. 한편 어미의 크기에 따른 호흡수의 차이를 알기 위하여 체중을 2 kg 미만인 것과 이상인 7개 처리구로 나누어 계수하였다. 외관상 복부가 팽만하고 호흡수가 36회 이상 되면서부터 이러한 상태의 어미만을 별도의 수조에 옮기고 난 후, 어미 사육조의 수온을 13.0~14.0℃로 조절하였다.



(2) 광주기·수온 조절에 의한 출산

조기출산을 위하여 환경조건(광주기·수온)을 인위제어하여 사육한 처리구와 자연 환경조건에서 사육한 대조구에서 출산효과를 조사했다.

출산효과는 어미의 복부가 팽창되고 호흡수가 36회에 가까운 개체들을 별도의 출산수조(원형 FRP 수조: 직경 1.5 m×1 m)에 2~3마리씩 수용하여 매일 출산한 어미수와 출산 자어의 상태를 조사하였다.

(3) 출산전 가온의 영향

1차실험에서 성성숙 인위제어에 따른 어미의 조기출산을 유도하기 위하여

인위적인 환경제어(광주기·수온)를 한 처리구와 대조구를 설정한 외에 민간종묘 배양장을 활용하여 생식소내 수정이 일어나는 이후로 생각되는 시기에 수온을 10~11℃로 내린후, 약간의 가온만으로 수온을 다시 빠르게 올려 가온이 출산에 미치는 영향을 조사하였다. 실험어로는 처리구, 대조구, 민간배양장에서 각각 53마리, 41마리, 52마리의 어미를 사용하였다.

1998년 2차실험에서 조기출산 유도를 위한 광주기·수온 조절은 교미 후 수정시기를 더욱 앞당기기 위하여 수온조건을 12~10.5℃로 조절하여 출산효과를 조사하였다.

한편 출산전 가온이 어미의 출산에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수정후 수온 13℃에서 발생이 진행중인 어미를 수온 14.9℃의 출산수조로 옮긴 후 15.5℃로 바로 수온을 올린 후 출산효과를 조사하였다. 이때 처리구는 43마리, 대조구는 10마리를 사용하였다.



2) 자·치어 사육

(1) 자·치어 먹이계열

출산된 자어의 먹이로는 Fig. 2와 같이 출산 후 4~5시간 경과 후부터 rotifer, *Brachionus plicatilis*를 ml당 4~5개체를 공급하였고, 이후 성장함에 따라 17일까지 5~15개체로 점차 증가시켜 주었다. *Artemia nauplii*는 출산 후 5~6일부터 10개체/ml를 공급하여 섭식량을 보아가며 점차 공급 개체수를 늘려(10~20개체/ml)주었다. 출산 후 10일째부터는 rotifer와 *Artemia nauplii* 크기에 해당되는 미립자 사료를 소량(4~5회/일)씩 투여하였으며, 성장함에 따라 알맞은 크기의 사료 입자를 선택하여 하루에 10~5회 공급하였다.

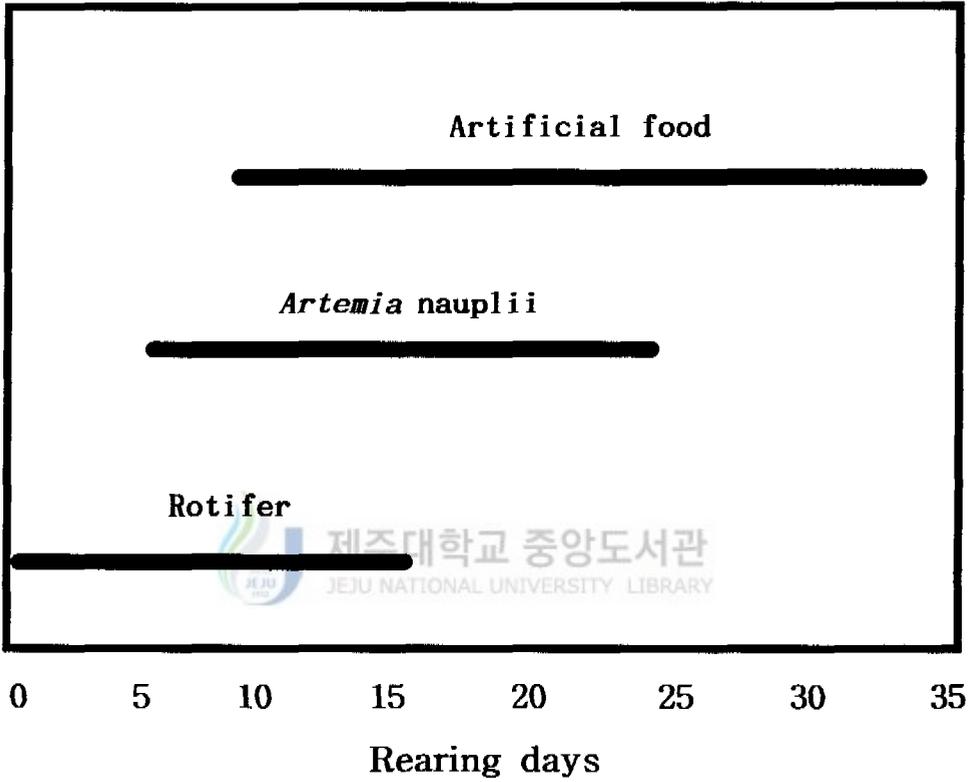


Fig 2 The feeding regime used for rearing black rockfish larvae for 35 days after parturition.

(2) 자·치어 사육

자·치어 사육은 출산직후부터 5톤 수조에 수용하여 rotifer, *Artemia nauplii* 그리고 배합사료를 공급하면서 예비수조에서 heater를 이용하여 수온 14.7~17.2°C로 조절된 물을 이용하여 우수식으로 사육하였다.

초기 사육실험은 출산 후 45일까지 그리고 후기 사육실험은 출산 후 100일부터 치어를 전장 크기에 따라 선별한 후 190일까지 사육하였다. 자·치어의 초기사육은 2개 실험구 1, 2로 나누어 각 실험구별로 수조 1: 300000마리, 수조 2: 550000마리의 자어를 수용하여 사육하였다. 초기사육중 실험구 1과 2에서 성장에 따른 수용밀도가 높아서 출산후 15일째 각각 2개(1 : 1-1, 1-2; 2 : 2-1, 2-2) 수조에 분조하여 사육하였다

초기성장은 출산 후 45일까지 각 처리구에서 무작위 추출한 자·치어 50마리를 만능투영기와 caliper를 이용하여 0.1 mm 단위까지 측정하였으며, 생존율은 각 수조의 저면 청소와 함께 매일 오전 10시와 오후 5시에 사체를 수거하여 10% 중성 formalin액에 고정하여 누적 폐사개체로 산출하였다.

(3) 선별효과

초기 사육과정에서 성장차에 의하여 발생하는 대·소형어의 선별효과 실험은 1차실험과 2차실험으로 나누어 조사하였다. 1차실험에서는 출산후 22일째 되는 전장 6.0~16 mm인 자어를 사용하였다. 그리고 내경이 15.3 mm 되는 비닐 호스를 이용하여 낙차를 수표면에서 5, 10, 15, 20 cm씩 주어서 siphon으로 흡인되는 개체와 흡인되지 않는 개체로 선별하였다. 그리고 선별후 35일간 사육하여 생존율을 구하였다.

2차실험에서는 실험어를 출산후 45일째 되는 전장 13~27 mm인 자어를 대상으로 선별효과를 조사하였다. 선별을 위한 siphon은 내경이 25 mm되는 비닐

호오스를 이용하여 낙차를 5, 10, 15, 20 cm씩 주어서 흡인되는 개체와 흡인되지 않는 개체로 선별하였다 그리고 선별 후 2주간 사육하여 생존율을 구하여 비교하였다.

3) 자·치어 활력평가

(1) 기아시 생존활력지수

기아시 생존활력지수는 출산직후의 자어를 10 l 유리수조에 50마리씩 15℃, 17℃, 19℃, 21℃의 4개 처리구에 수용하여, 먹이를 공급하지 않은 상태에서 자어가 모두 폐사 할 때까지 조사하였다. 대조구는 자연에서 어획된 어미의 출산 자어를 사용하여 생존활력지수(survival activity index · SAI)를 구하였다. 죽은 개체는 매일 10시경에 피펫으로 수거하였고, 사육수는 매일 50%씩 동일 수온의 해수로 환수하였으며, 이때 산소공급은 하지 않았다. SAI는 다음 식을 이용하여 구하였다



$$SAI = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k (N-h_i) \times i$$

N : 자어수

h_i : i 일째까지의 누적 폐사 자어수

k : 자어가 모두 폐사할 때까지의 일수

(2) 공기노출 내성

인위적인 환경 제어하에서 성숙 촉진된 어미로부터 조기 출산한 자어와 자

연에서 어획된 어미로부터 출산된 자어의 공기 노출에 따른 내성을 비교하였다. 실험어는 조기 출산 자어와 자연조건에서 출산된 자어를 각각 5마리씩 망목 1 mm의 소형 스테인레스 뜰 그물을 사용하여 채포한 후 paper towel로 습기를 제거하고, 공기 중에서 10, 20, 40, 60초 동안 노출시킨 후, 2 l 유리수조에 수용하여 2시간 후의 생존율을 비교하였다.

5. 통계처리

모든 실험은 2회 반복하여 평균을 사용하였으며, 얻어진 결과의 통계적 분석은 SPSS 통계패키지를 이용하여 분산분석과 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균차의 유의성 여부를 검정하였다.



Ⅲ. 결 과

1. 어미관리 및 광주기·수온 조절

1) 광주기·수온 조절

자연 환경조건(대조구)에서 조피볼락의 번식(교미, 수정, 출산)을 위해 사육한 광주기와 수온변화는 Fig. 3에 나타냈다.

광주기는 1996년 6월 1일 15L : 9D의 장일조건에서 8월에는 13L : 11D로 명기가 줄었으며, 겨울철인 12월에는 단일조건인 10L : 14D까지 명기가 줄었다. 12월 이후에는 다시 자연 일주기에 따라 서서히 명기가 늘어났다. 수온은 1996년 7월초에서 7월말까지 19~20℃ 범위였던 것이 8월초에는 실내 사육으로 인해 최고 29~30℃까지 높은 수온 상승을 보였지만, 이후 10월초까지는 20~25℃의 수온 범위를 보였다 11월에는 평균 수온범위가 14~15℃였으며, 1997년 2월에는 11~12℃로 가장 낮았으며, 3월부터는 서서히 상승하기 시작하여 4월에는 15~16.5℃의 범위를 보였다.

처리구에서 번식의 인위제어를 위해 광주기·수온을 조절한 결과는 Fig. 4에 나타냈다. 1차실험에서 광주기 조절은 1996년 6월 1일 15L : 9D의 장일조건에서 10~15일간격으로 30분씩 명기를 줄인 결과 10월말에는 단일조건인 9L : 15D로 되었다 이후 단일처리 방법과 동일한 간격으로 장일처리하여 1997년 1월 중순에는 다시 12L : 12D로 조절하였으며, 2월에는 14L : 10D까지 명기를 늘렸다. 2차실험에서는 광주기를 1차실험의 교미시기에서 40일 앞당긴 결과 1997년 9월에 9L : 15D의 단일조건이었으며, 1998년 1월에는 14L : 10D의 장일조건이 유지되었다.

1차실험이 시작되는 1997년 7월 평균 수온범위는 19~20℃ 내외였고, 8월부터

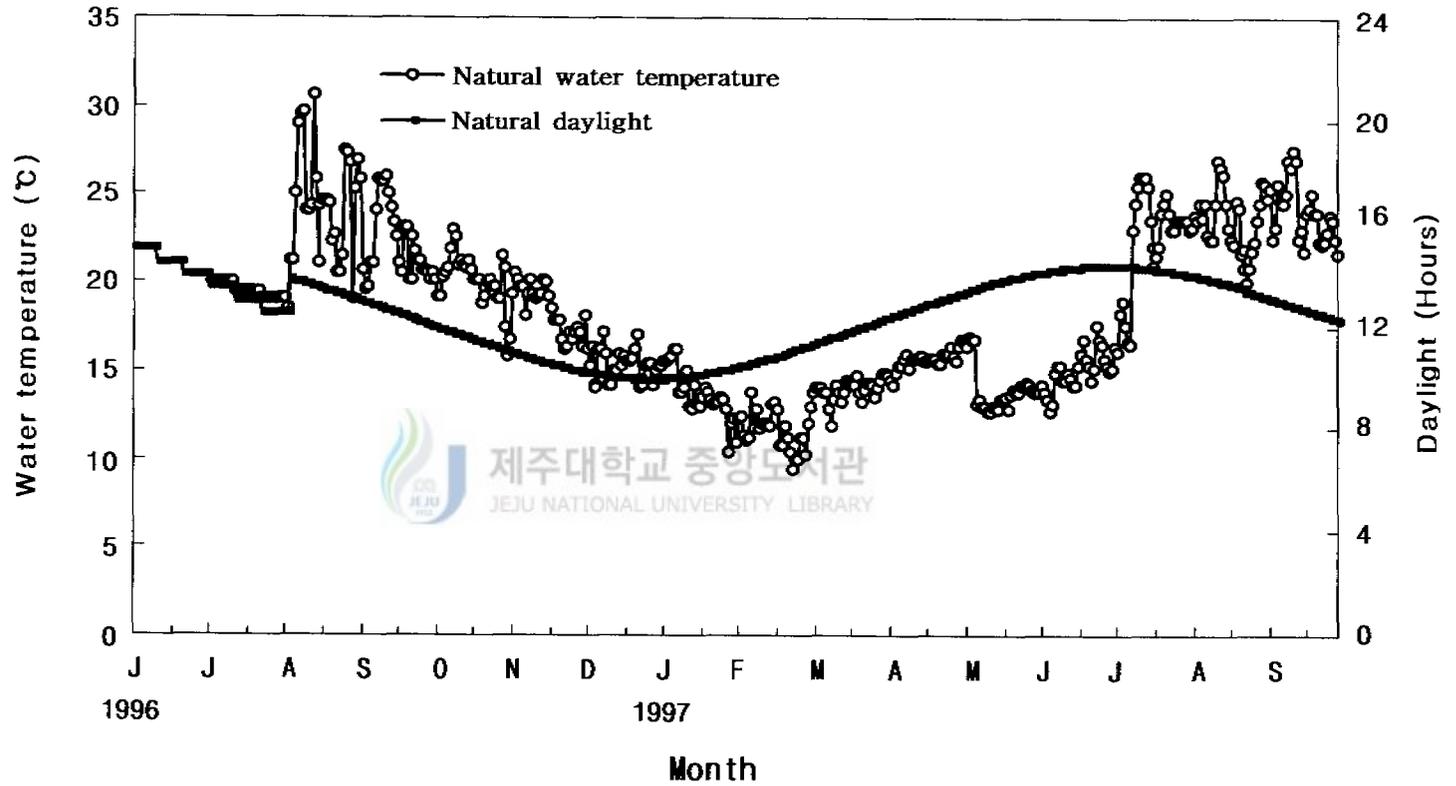


Fig 3. Changes of water temperature and photoperiod under natural condition from June 1996 to September 1997.

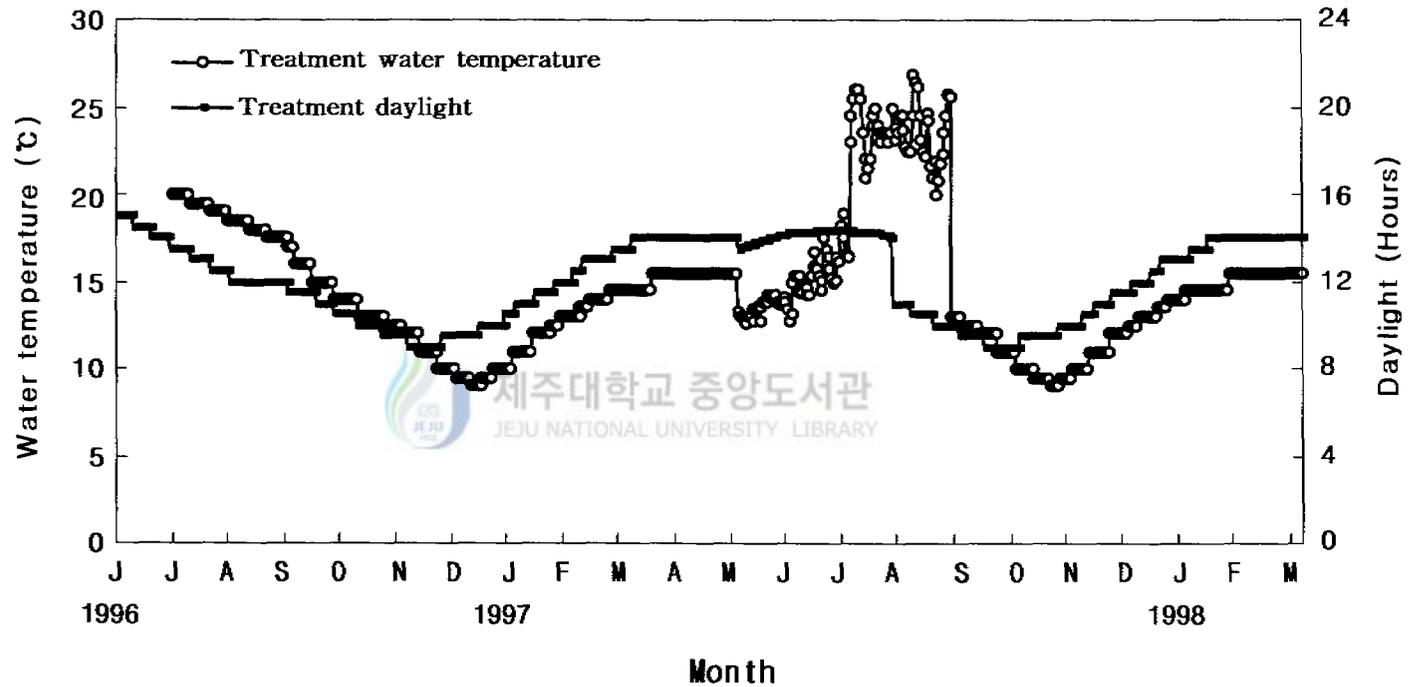


Fig. 4. Changes of water temperature and photoperiod artificially controlled from June 1996 to March 1998.

10월까지의 수온은 18~12℃였다. 그리고 11월부터 12월 중순까지는 가장 낮은 11~9℃의 범위였으며, 1997년 1월 중순에는 다시 수온을 조절함에 의해 2월까지 14~15℃로 유지하였다. 한편 2차실험에서는 1차실험의 교미시기를 40일 앞당긴 결과, 8월 중순의 13℃에서 9월 중순의 12℃까지 낮추었으며, 이후 서서히 수온을 높혀 1998년 1월에는 14℃로 수온을 일정하게 유지하였다.

2) 사육환경

실험기간중 수온변화는 Fig. 5와 같다. 처리구와 대조구에서 실험이 시작되는(처리구: 광주기 조절) 1996년 6월 1일부터 7월 30일까지는 수온이 17℃에서 24℃까지 상승하였다. 처리구는 7월 1일부터 7월 30일까지 수온을 20℃로 서서히 조절하였으며, 8월 1일부터 처리구는 Table 1에 나타낸 수온 조절표에 따라 조절하였다. 한편 대조구는 8월부터 9월까지 평균 수온이 25~28℃로 높았지만, 9월 이후부터 서서히 내려가기 시작하여 겨울철인 12월부터 2월까지의 평균 10~12℃로 낮은 수온 범위를 보였으며, 3월부터 4월 30일까지 다시 15℃로 상승하였다. 그리고 1997년 5월 이후에는 처리구와 대조구 모두 2차실험을 시작하는 8월초까지 수온범위는 15~23℃였다.

염분은 처리구와 대조구 모두 7월 30일까지는 평균 33.2‰를 유지하였으나, 8월 중순에는 동중국해로부터 저염분의 해류가 제주근해로 접근하면서 20‰까지 크게 낮아지는 일시적인 현상을 보였지만, 9월부터 대조구는 다시 30~33‰ 내외로 비교적 안정된 범위를 유지하였다. 한편 처리구는 폐쇄 순환여과수조에서 사육실험을 하면서 일부 사육수를 교환할 때 저염분의 해수가 8월 중순에 일부 혼입되어 11월초까지 염분이 22‰~25‰로 낮은 염분을 보였지만, 11월말에 사육수를 교환 한 이후부터는 대조구 보다 높은 35‰~36‰의 염분을 유지하였다(Fig. 5).

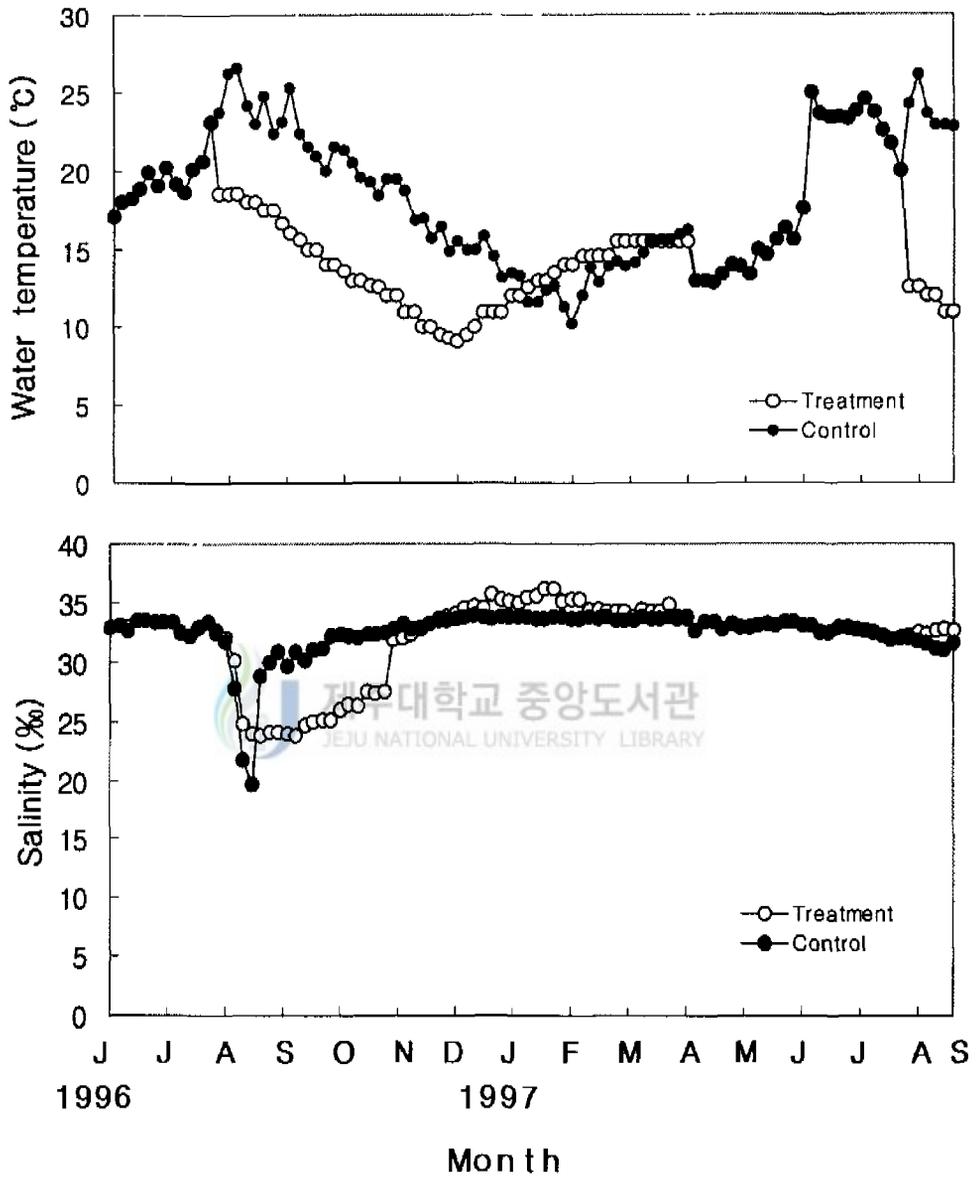


Fig. 5. Fluctuation of water temperature and salinity from June 1996 to September 1997.

용존산소량은 처리구와 대조구 모두 실험이 시작되는 1996년 6월부터 7월말까지 5.2~6.9 ppm으로 안정된 수치를 보였지만, 8월부터 1차실험이 종료되는 1997년 4월까지의 처리구와 대조구 모두 6.2~7.5 ppm 범위였다. 1차실험이 종료된 이후부터는 2차실험이 시작되는 1997년 8월말까지의 용존산소의 변화는 두 처리구 모두 평균 6.4~7.4 ppm을 유지하였다(Fig 6).

pH는 Fig. 6에 나타낸 것처럼 실험 초기에 8.2~8.4의 범위로 두 처리구 모두 일정한 값을 유지하였지만, 1996년 8월1일부터 11월 30일까지, 그리고 1997년 1월에서 2월 중순까지 처리구에서 pH 값이 8.4에서 7.1로 시간이 경과할수록 낮은 값을 보여, 변화의 폭이 다소 컸으며, 1997년 3월 사육수를 일부 교환 한 후부터 실험이 종료될 때까지 평균 8.3의 범위로 비교적 안정된 값을 보였다 한편 대조구에서 1996년 8월부터 12월까지 8.1~8.5의 범위였으며, 이 값은 실험이 종료될 때까지 거의 일정하였다.

3) 성장 및 생존율



환경제어(광주기·수온)를 실시한 처리구와 자연조건인 대조구에 있어서 1차 실험기간동안 수컷의 성장 결과는 Table 2와 같다. 실험이 시작되는 1996년 6월 처리구 및 대조구의 전장은 325 ± 1.5 cm, 32.9 ± 1.9 cm였던 것이 1997년 1월에는 처리구는 35.4 ± 0.7 cm, 대조구는 36.5 ± 0.2 cm로 두 처리구 모두 약간의 성장을 보였으며, 이후 1차실험이 종료되는 1997년 4월에는 각각 37.9 ± 0.3 cm, 37.7 ± 0.7 cm로 1차실험 기간동안 두 처리구 모두 5 cm 정도의 성장을 보였다. 그리고 처리구와 대조구간의 성장은 거의 유사한 성장을 보였다. 한편 1차실험 기간 동안 체중의 변화를 보면 실험이 시작되는 1996년 6월에 처리구는 584 ± 78 g, 대조구는 585 ± 16 g 이었던 것이 1997년 1월에는 처리구는 718 ± 90 g, 대조구는 698 ± 13 g 으로 처리구에서 다소 높게 나타나고 있다. 그리고 1차

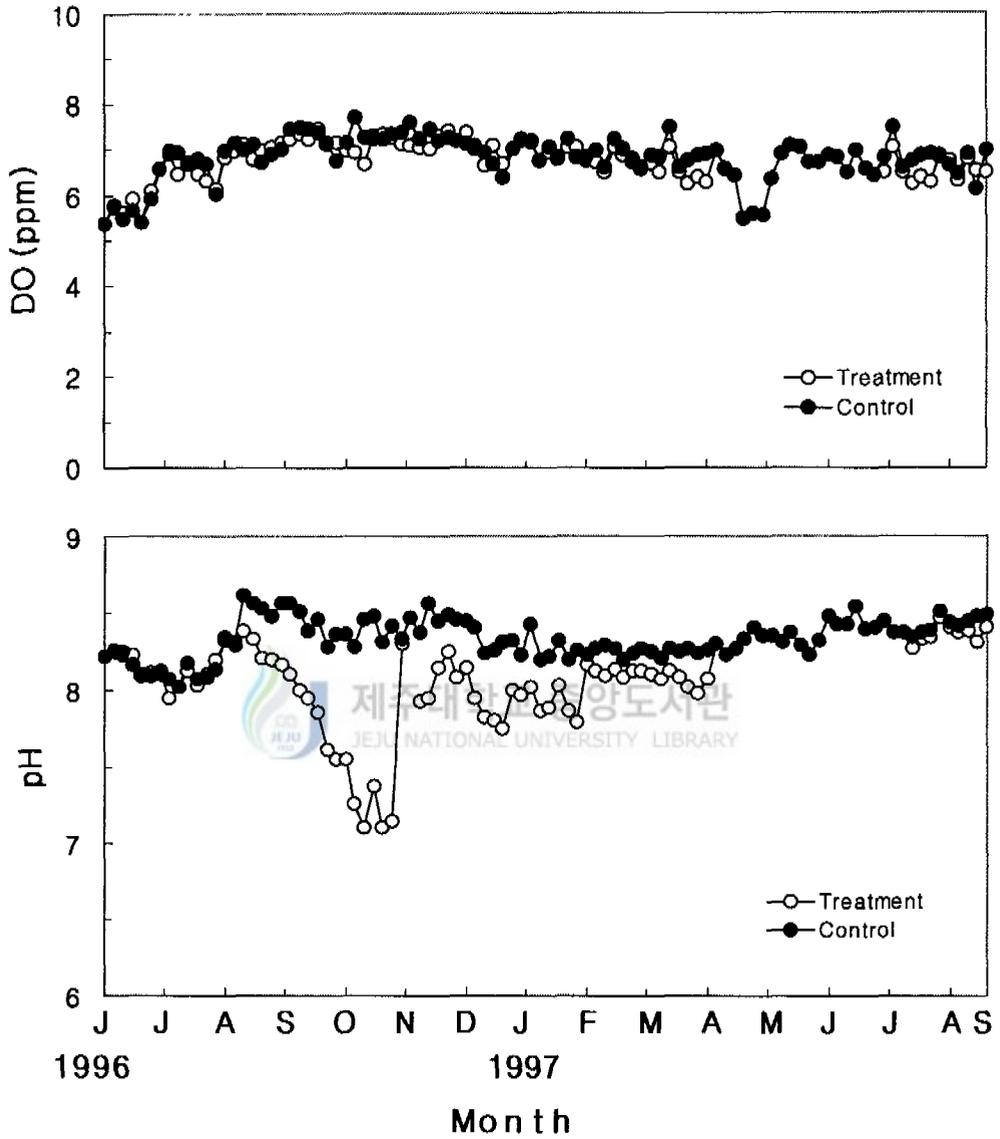


Fig. 6. Fluctuation of dissolved oxygen (DO) and pH from June 1996 to September 1997.

Table 2. Growth in total length and body weight of the male during the first experimental period

Month	Total length (cm)		Body weight (g)	
	Treatment	Control	Treatment	Control
Jun. 1996	32.5±1.5	32.9±1.9	584±78	585±16
Jul.	32.6±1.2	33.2±2.2	595±79	598±81
Aug.	32.9±0.2	33.8±1.3	645±79	630±81
Sep.	33.1±3.2	34.1±0.1	650±24	650±17
Oct.	33.4±0.1	34.5±1.8	684±14	665±12
Nov.	34.7±1.6	34.7±0.2	690±25	692±70
Dec.	34.7±1.6	35.4±0.2	695±17	677±71
Jan. 1997	35.4±0.7	36.5±0.2	718±90	698±13
Feb.	36.1±0.2	36.6±0.1	725±19	704±24
Mar.	37.2±0.3	37.0±1.5	743±18	712±23
Apr.	37.9±0.3	37.7±0.7	756±14	728±13

실험이 종료되는 1997년 4월에는 처리구 756±14 g, 대조구 728±13 g으로 두 처리구 모두 실험기간동안 높은 체중증가를 보였다. 그리고 처리구와 대조구간의 체중증가는 처리구가 대조구에 비해 약간 많았다.

암컷의 경우 전장 및 체중의 성장은 Table 3과 같이 실험이 시작되는 1996년 6월 처리구 42.1±1.9 cm, 대조구 42.3±2.0 cm 였던 것이 1997년 1월에는 처리구 45.6±0.2 cm, 대조구 44.8±0.2 cm로 각각 성장하였으며, 실험이 종료되는 4월에는 처리구 47.4±0.3 cm, 대조구 45.7±0.7 cm로 전 실험기간을 통하여 처리구가 대조구에 비해 좋은 성장을 보였다. 체중의 변화에 있어서도 실험이 시작되는 1996년 6월 처리구는 1234±171 g, 대조구는 1217±736 g 이었던 것이 1997년 1월에는 각각 1690±190 g, 1458±134 g으로 처리구가 대조구에 비해 증가량이 많았다. 그리고 실험이 종료되는 1997년 4월에는 처리구에서 1759±721 g, 대조구에서는 1674±133 g으로 대조구는 체중의 증가를 보인 반면, 처리구에서는 체중의 감소를 보였다. 이와 같이 처리구에서는 난소내 부화자어의 출산으로 인한 생식소의 중량 감소로 체중이 낮은 값을 보였다.

한편 1차실험기간 동안 수컷과 암컷의 생존율에서 수컷의 경우 처리구 98.5%, 대조구 95.5%로 두 처리구 모두 평균 95% 이상 생존하였다. 또한 암컷의 경우에도 처리구와 대조구 모두 94% 이상으로 생존율이 높았다. 이상의 결과를 종합한 결과를 보면 환경제어(광주기·수온)를 한 처리구와 자연조건인 대조구간에 어미의 생존율은 평균 94% 이상으로 높아 서로 차이를 보이지 않았다.

실험기간중 조피볼락의 비만도에 대한 결과는 Table 4에 나타났다. 먼저 수컷의 경우 실험이 시작되는 1996년 6월 처리구와 대조구의 비만도는 각각 1.70, 1.64였던 것이 광주기와 수온이 조절되는 6월 이후 처리구에서 정자형성이 활발히 진행되는 8월부터 증가하기 시작하여 교미가 이루어지는 10월에 1.84로 최

Table 3. Growth in total length and body weight of the female during the first experimental period

Month	Total length (cm)		Body weight (g)	
	Treatment	Control	Treatment	Control
Jun. 1996	42.1±1.9	42.3±2.0	1234±171	1217±736
Jul.	42.3±1.2	42.7±2.2	1245±183	1267±253
Aug.	42.3±2.1	43.2±5.9	1265±370	1345±431
Sep.	42.8±2.3	43.4±0.1	1280±145	1346±147
Oct.	43.0±2.3	44.2±1.0	1366±152	1384±170
Nov.	43.4±1.7	44.1±1.3	1468±251	1389±263
Dec.	44.1±0.1	44.4±0.1	1542±170	1403±240
Jan. 1997	45.6±0.2	44.8±0.2	1690±190	1458±134
Feb.	46.4±0.2	45.2±0.1	1840±190	1499±248
Mar.	47.2±0.3	45.2±1.5	1754±183	1563±231
Apr.	47.4±0.3	45.7±0.7	1759±721	1674±133

Table 4. Change of condition factor in male and female breeders during the first experimental period

Month	Male		Female	
	Treatment	Control	Treatment	Control
Jun. 1996	1.70	1.64	1.65	1.61
Jul.	1.72	1.63	1.65	1.62
Aug.	1.81	1.63	1.67	1.66
Sep.	1.80	1.64	1.61	1.64
Oct.	1.84	1.64	1.72	1.60
Nov.	1.65	1.65	1.79	1.62
Dec.	1.66	1.52	1.79	1.60
Jan. 1997	1.62	1.44	1.78	1.62
Feb.	1.54	1.44	1.84	1.62
Mar.	1.44	1.41	1.66	1.69
Apr.	1.39	1.40	1.65	1.75

고값에 달하였으며, 교미가 끝난 11월부터는 낮은 값을 보였다. 한편, 대조구의 경우에는 처리구에 비해 1개월 늦은 11월에 1.65로 최고값을 나타내었으며, 교미가 끝난 12월부터는 처리구와 유사한 낮은 값을 보였다.

비만도는 암컷의 경우 1996년 6월 처리구와 대조구 모두 각각 1.65, 1.61이였으며, 이후 두 실험구 모두 서서히 증가하기 시작하여 난황형성이 이루어지는 11월부터 수정이 이루어지는 1997년 1월까지 처리구는 1.78~1.79로 다소 높은 값을 보였다. 그리고 출산이 이루어지는 1997년 2월에는 1.84로 최대값에 달하였으며, 출산이 끝난 휴지기 상태의 1997년 3월과 4월에는 1.66, 1.65로 다시 낮아졌다. 한편, 대조구는 처리구에 비해 2개월 느린 1997년 4월 출산시기에 1.75로 최고값을 보였다.

2. 생식세포의 발달과 혈청 성 스테로이드 호르몬의 월 변화

1) 수컷

수컷의 정자형성과정에 따른 내분비 활성 호르몬 농도는 T 농도의 변화만으로 성성숙 활성도를 조사하였다. 실험 시작 2개월 후인 1996년 8월부터 처리구에서는 비교적 높은 값(3.119 ng/ml)을 유지하다가 10월에 최고값(1.998, 4.082 ng/ml)을 보인 후, 11월에 급격히 낮아졌다(0.117 ng/ml).

한편 대조구는 8, 9월에 각각 0.571 ng/ml, 0.892 ng/ml로 처리구에 비해 비교적 낮은 값을 나타냈고, 10월에는 1.190, 1.537 ng/ml로 8, 9월에 비해 다소 높았지만(Fig. 7), 전체적으로 볼 때 처리구에 비해 전반적으로 낮았다. 광주기·수온을 조절한 처리구와 자연조건인 대조구에서 T의 농도 변화는 성숙후기로 정소

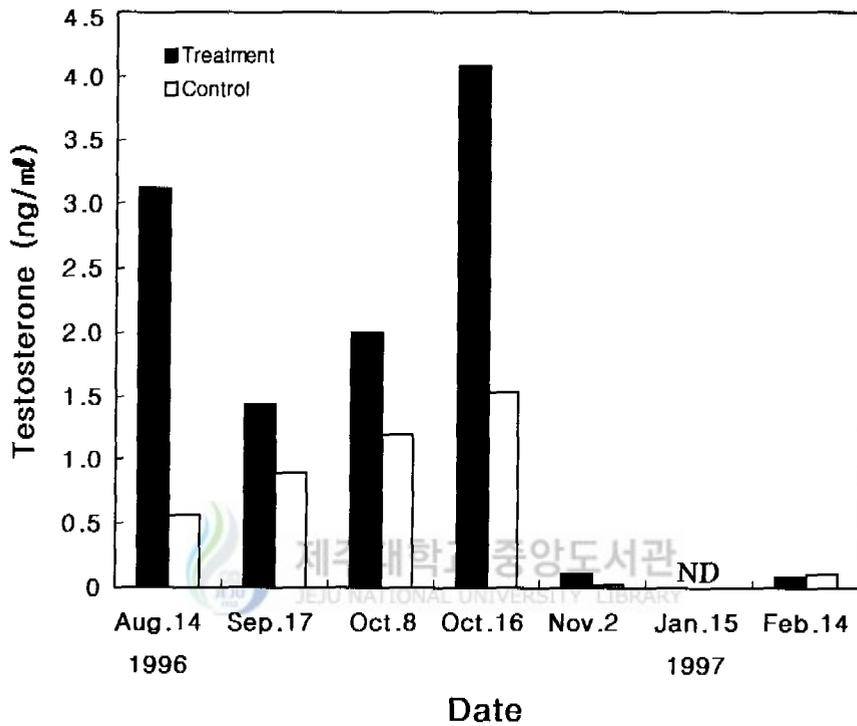


Fig. 7. Change in serum testosterone of male black rockfish measured with treatment and control group.

ND : none detected.

소관에 정자무리를 이루는 8월에서 10월초까지 T의 수치가 아주 높았다(Fig. 8-①, ②, ⑥, ⑦). 특히 10월말에서 11월초에는 처리구에서 수컷의 정소내에 활발한 정자형성과 더불어 변태된 정자무리들이 기부의 정소소관내에 밀집되어 있어(Fig. 8-⑧, ⑨), 이 시기가 처리구에서 수컷의 교미시기로 생각되며, 대조구에서는 11월말(Fig. 8-④)이 교미시기로 생각된다 그리고 수컷은 교미시기에 처리구와 대조구 모두 T 농도 또한 가장 높은 값을 보였다.

2) 암컷

수온과 광주기 조절에 의한 조피볼락의 성성숙 유도효과는 실험시작 1개월 전부터 사육수조에서 충분히 순치시킨 후, 1996년 6월에 광주기와 8월에 수온을 함께 조합한 환경조절을 실시하여, 암컷의 경우 성성숙 관련 내분비 활성 호르몬이라고 생각되는 4종류의 성 스테로이드 호르몬을 측정하였다.

월별 progesterone의 농도 변화는 처리구에서는 뚜렷한 변화를 보이지 않았고, 평균 2~2.5 ng/ml로 비교적 일정한 값을 나타냈으나, 대조구에서는 처리구에 비해 다소 높은 주기적인 현상을 보이면서, 2월에는 최고값(8.359 ng/ml)을 나타냈다(Fig. 9). 한편 17 α -OHP 역시 처리구보다 대조구에서 뚜렷이 높은 값을 보이며, 2월에 최고값(2.997 ng/ml)을 나타냈다(Fig. 9). 그리고 T와 E₂의 변화를 보면, 처리구와 대조구 모두 8월부터 10월까지의 비교적 낮았지만, 처리구는 11월에 최고값(7.654, 5.007 ng/ml)을 나타냈으며, 대조구는 2월에 최고값(3.280, 6.543 ng/ml)을 나타냈다(Fig 10).

이상의 결과를 종합해 보면 조피볼락의 성성숙에 관여하는 호르몬의 변화에는 처리구와 대조구 모두 T와 E₂의 농도가 더욱 더 뚜렷하게 반응하였으며, 또한 처리구가 대조구에 비해 빨리 성성숙에 도달하였다.

광주기·수온을 조절한 처리구에서 T와 E₂ 농도는 난소내 난경이 250~280 μ m

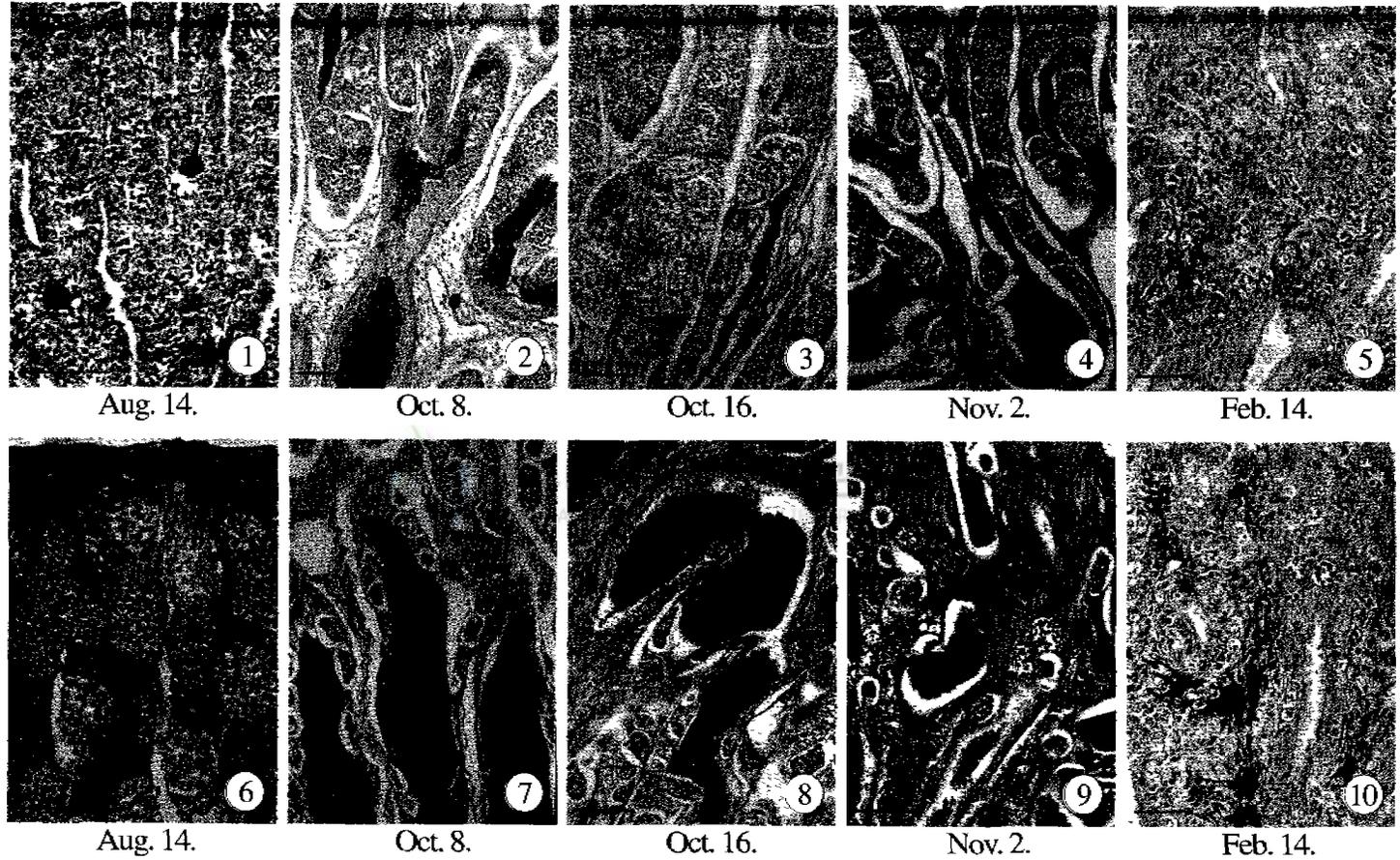


Fig. 8. Comparison of gonadal development between control (①~⑤) and treatment group (⑥~⑩) of male black rockfish. Scale bar = 200 μ m

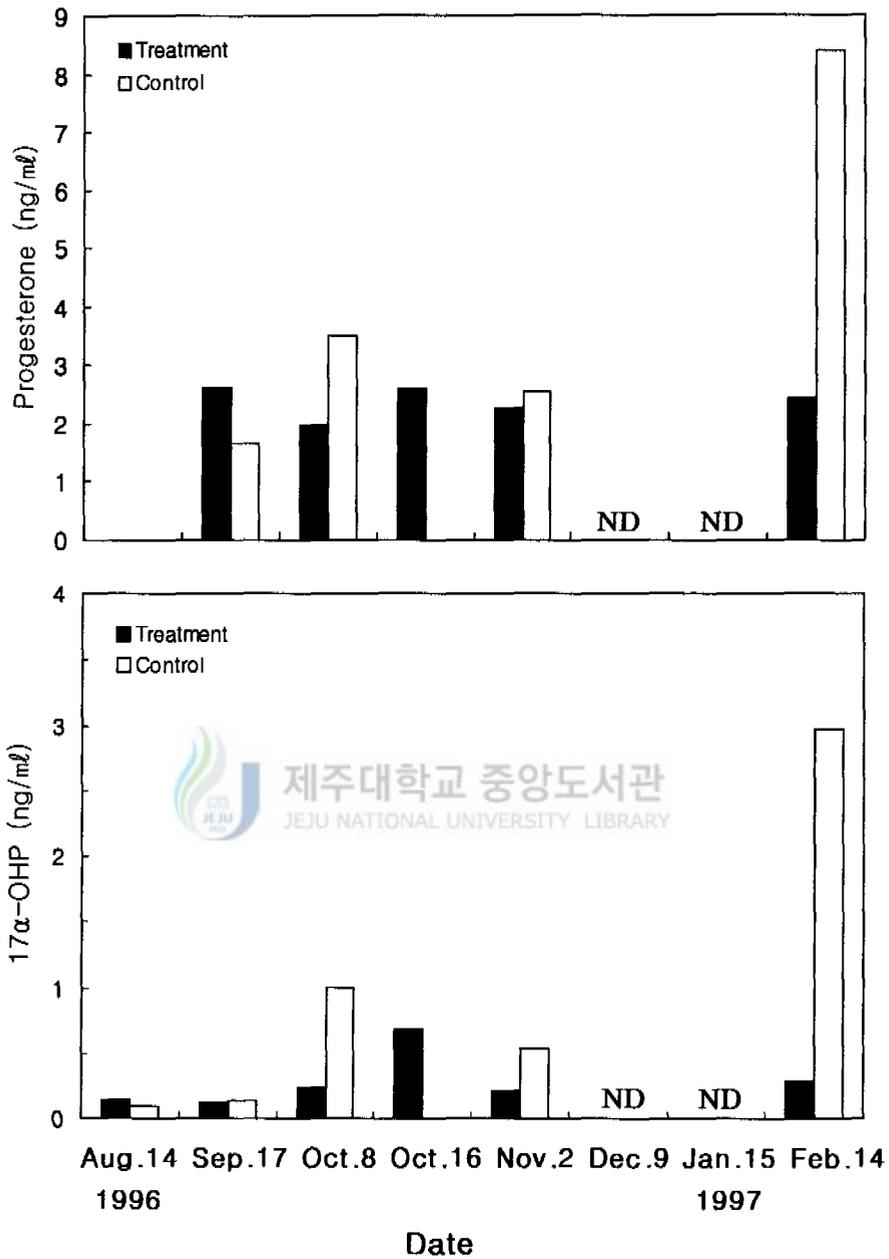


Fig. 9. Change in serum progesterone and 17 α -OHP estimated from treatment and control group of female black rockfish. ND: none detected.

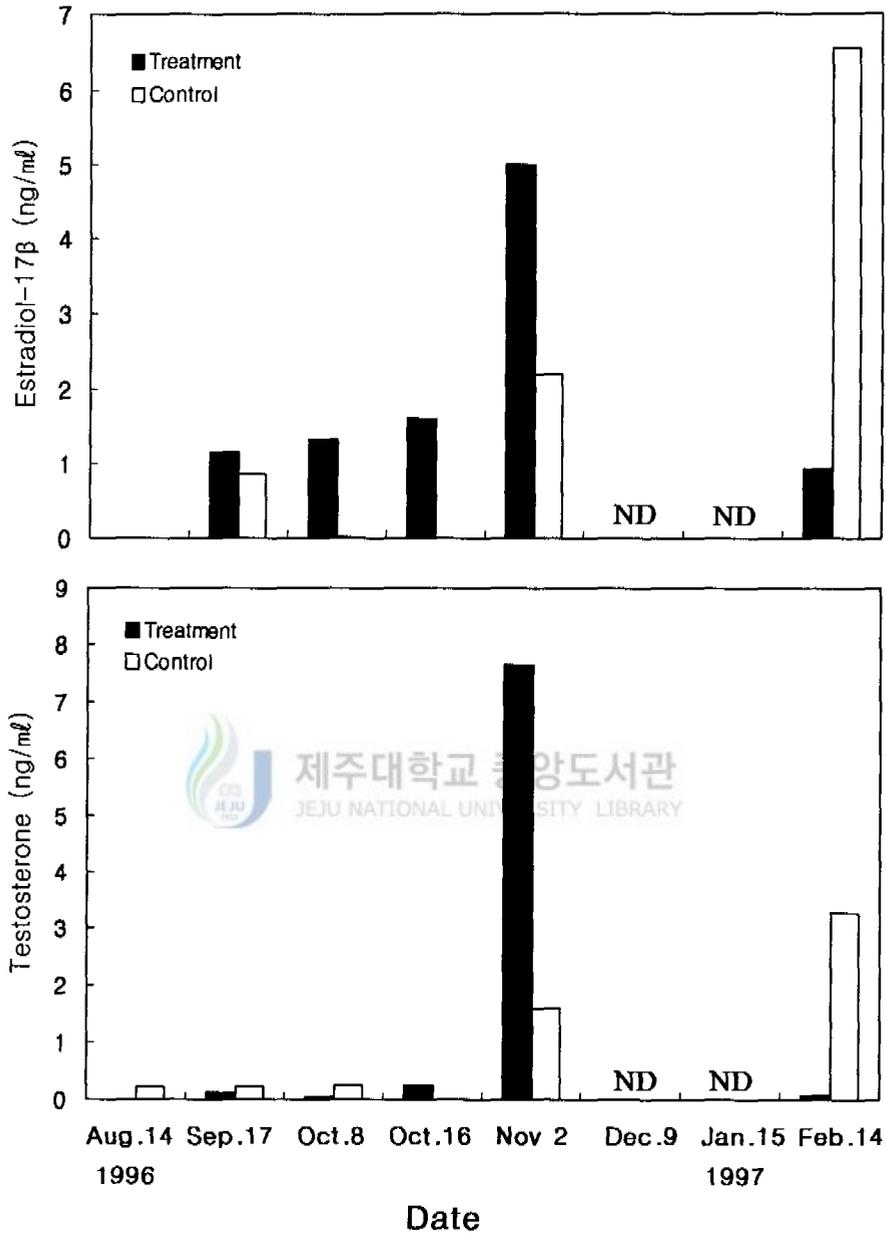


Fig. 10. Change in serum estradiol and testosterone estimated from treatment and control group of female black rockfish. ND: none detected.

되는 난황포기 난모세포와 50~70 μm 되는 주변인기 난모세포들이 혼재해 있는 미성숙기에 처리구(Fig. 11-⑥, ⑦)와 대조구(Fig. 11-①~④) 모두 비교적 낮은 값을 보였다. 최고값을 보이는 시기는 처리구에서는 11월(7.654, 5.007 ng/ml), 대조구는 2월(3.280, 6.543 ng/ml)로, 이 시기에는 각각 난소내에 난경이 480~600 μm 에 달하는 완숙란들이 대부분이었으며(Fig. 11-⑧, ⑤), 세포질은 호산성 난황구와 유구들로 밀집되어 있었다. 또한 이 값은 처리구와 대조구 모두 출산 2개월전 까지 높게 유지되지만, 임신기와 출산기(Fig. 11-⑨, ⑩, ⑤) 이후에는 다시 낮은 값을 보였다.

3. 번식주기

1) 생식기 구조

(1) 정소

조피볼락 정소의 외부구조는 1쌍의 가늘고 긴 기관으로 부레 밑에서 체강 뒷부분까지 나란히 위치하였다. 좌·우 정소의 크기는 거의 같은 형, 같은 크기였지만, 서로 연결되어 있지 않고, 각각 독립되어 있었다. 정소 내부를 앞뒤로 뻗은 작은 수정관은 정소 뒷쪽의 큰 수정관에 나란히 연속해 이어져 있었다 그리고 좌우의 수정관은 항문 가까운 선단부에서 하나로 합쳐져, 항문 바로 뒷부분에서 항문과는 별도로 항문 뒤쪽에 돌출하는 비뇨생식돌기(교미기)로서 체외에서 개구하였다(Fig. 12-①).

정소의 내부 횡단면 구조(Fig. 12-②)를 보면, 전후부가 타원형이며, 중앙부는 거의 삼각형이었다. 정소간막이 연속한 정소기부에는 등쪽에서 부터 정소동맥, 정소정맥, 수정관의 순서로 이어졌다. 이 정소내 수정관에서 가는 주머니 형태의 정소낭이 방사상으로 신장되었다.

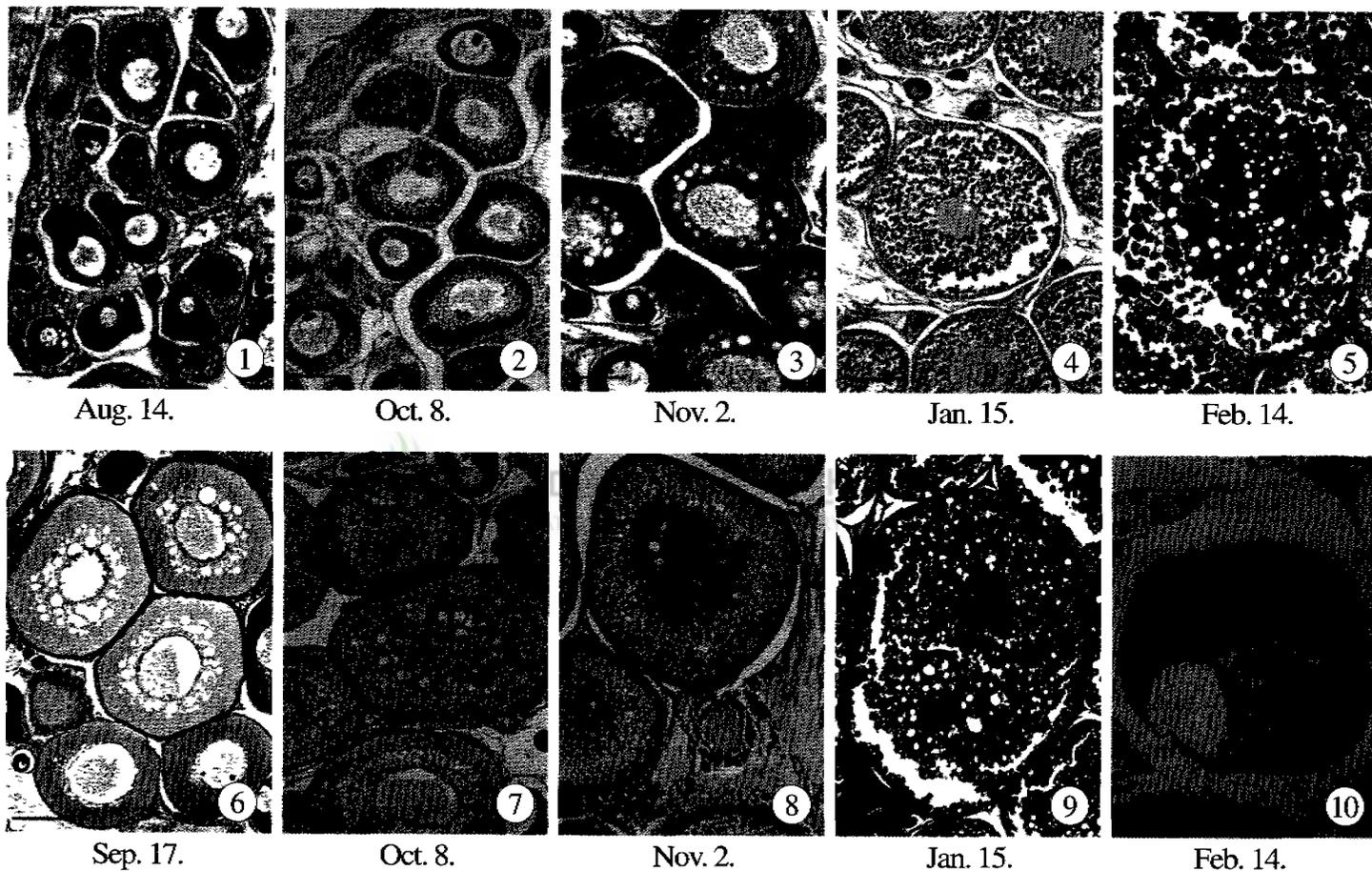


Fig. 11. Comparison of gonadal development between control (①~⑤) and treatment group (⑥~⑩) of female black rockfish. Scale bar = 200 μ m.

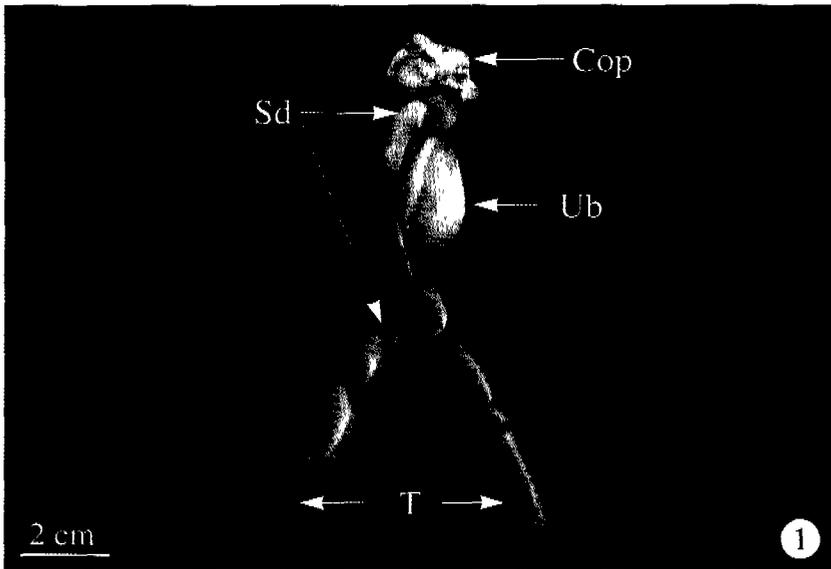


Fig. 12. External (①) and internal (②) structure of testis in male black rockfish Cop: copulatory organ, Sd: sperm duct, T: testis, Ub: urinary bladder.

(2) 난소

조피볼락의 난소 외부구조는 다른 볼락속(특히 탁자볼락) 어류의 난소와 동일하게 좌우 1쌍의 낭상기관으로 각각 말단부분에서 하나로 합쳐져서 하나의 생식수관에 나란히 이어져 있었다(Fig. 13) 미숙한 난소는 방추형을 보이고 성숙함에 따라 난원형으로 되고 임신중에는 이것이 특히 체강의 대부분을 차지하였다. 난소피막은 외측으로부터 편평상피와 섬유성의 박층으로 나뉘어져 횡주근과 종주근이 잘 발달한 얇은 근육층에서 생겨나고 난소강을 둘러싸는 부분에서는 이들과 더불어 내면을 단층상피가 덮고 있었다. 난소기부에는 두꺼운 난소동맥과 난소정맥이 세로로 뻗어있었다. 이 기부를 중심으로 수개소에서 풍부한 혈관을 따라 결합조직이 가지모양으로 신장하였다

난소의 내부구조는 생식소가 그 속에 포함되어있는 생식세포와 함께 난소박판으로 이루어져 있었다. 그리고 난소내 난소강은 난소기부를 제외하고 난소박판의 자유면(free surface)을 포함하는 난소주변의 거의 전역으로 확대되었다.



(3) 교미기

수컷 외부생식기의 변화는 성어의 경우 주년을 통하여 항문 바로 뒤, 뒷지느러미 앞쪽에 원통 모양의 돌출부(비뇨생식돌기)가 보였는데 이 돌출부가 외부생식돌기였다. 이 돌출부의 앞부분은 둥근띠로 되어 있으며, 수정관의 개구부는 초생달 모양의 구멍 형태로 되어있었다 이 돌기의 측벽은 미성숙기인 1월에서 4월까지의 작고 유백색을 띄며, 주위에 검고 흰 반점들이 산재하였다(Fig. 14-①). 8월 성숙기에는 생식돌기가 미성숙기에 비해 검고 흰 반점들이 더욱 많이 분포하였으며, 크기에 있어서도 1~4월에 비해 다소 비대해졌다(Fig. 14-②). 그러나 성숙하여 교미시기가 가까워지는 10월말에는 정자를 방출하는 시기로서 생식돌기가 아주 비대하고 특히 선단부위는 뚜렷하게 검붉은색으로 변화하였다(Fig. 14-③).

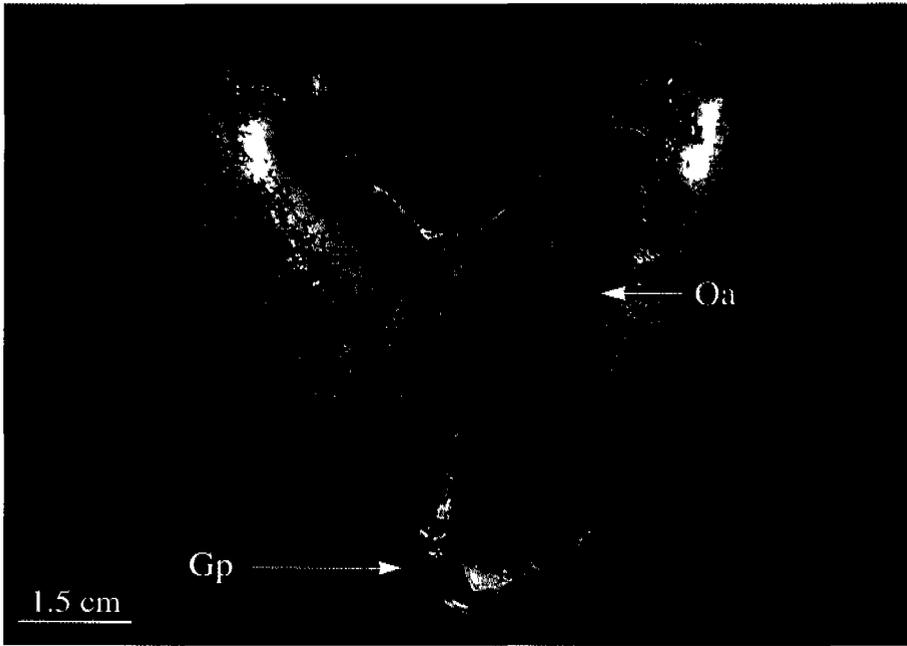


Fig. 13. External morphology of the ovary in female black rockfish.
Oa: ovary artery, Gp: genital pore



Fig. 14. External feature of genitalia in black rockfish reared under artificial control of environment. An: anus, Cop: copulatory organ. ①: immature stage, ②: mature stage, ③: copulation stage. Scale bar = 1.5 cm

암컷의 비뇨생식기 외부구조 및 특징을 보면, 암컷의 생식공은 항문과 그 뒤쪽의 비뇨생식기 사이에 위치하였다. 그 개구부는 일반적으로 출산기 이외의 암컷 성어나 미성숙어에서는 뚜렷하게 보이지 않았다. 비뇨돌기는 생식공 직후에 보이는 소돌기였으며, 그 형태는 성어에서 둥글게 되며, 그 앞부분에 비뇨구가 위치하였다. 그리고 대부분 암컷 성어에서 항문은 다소 팽출하였고, 그 개구부는 적갈색 혹은 핑크색을 띄고 있었다(Fig. 15-①).

외부 생식공과 그 주변부위의 특징은 일반적으로 암컷이 성숙을 하면 항문, 생식공 및 비뇨돌기의 개구부위가 전체적으로 팽출하며, 또한 배발생이 진행됨에 따라 그것들의 융기나 생식공 주변부위에 현저한 색채 차이를 보였다. 이들 특징들은 Fig. 15-②에서 나타낸 바와 같이 1996년 6~8월 실험개시시 암컷의 특징으로 생식공 및 비뇨돌기는 약간 팽출하며, 또한 항문에서 비뇨돌기에 걸쳐 주변부위가 약간의 담청색을 나타내기 때문에, 가운데 부위는 주변의 체표와 색채로는 구별이 분명하지 않는 경우도 있었다.

Fig. 15-③은 1996년 10월말 교미시기의 암컷으로 항문에서 비뇨돌기에 걸쳐서 한결같이 부풀어 나오지만, 그 상태는 Fig. 15-②보다 크게 뚜렷하지는 않고, 생식공과 생식공의 앞부분이 약간 부풀어 오른다. 그리고 항문에서 비뇨돌기에 걸쳐서 그 주변부는 개체에 따라 자색 혹은 암청색의 색채에 의한 변화가 일부 보였다.

교미가 끝나고 출산(1997년 2월 22일)이 가까워지면, 임신한 암컷의 항문, 생식공 및 비뇨돌기의 개구부위는 현저하게 팽출하며, 또한 그 주변부위의 표피는 암청색 혹은 암자색으로 보였다. 특히 부풀어 오른 생식공의 표피를 통하여 은색으로 빛나는 자어의 안포가 다수 관찰되었다. 이러한 특징을 보이는 임신어는 일반적으로 항문과 비뇨돌기의 앞부분이 암적색을 띄고, 개구하는 것 처럼 보였다(Fig. 15-④). 이러한 특징들은 임신어의 비뇨생식기 개구부에서 보이는

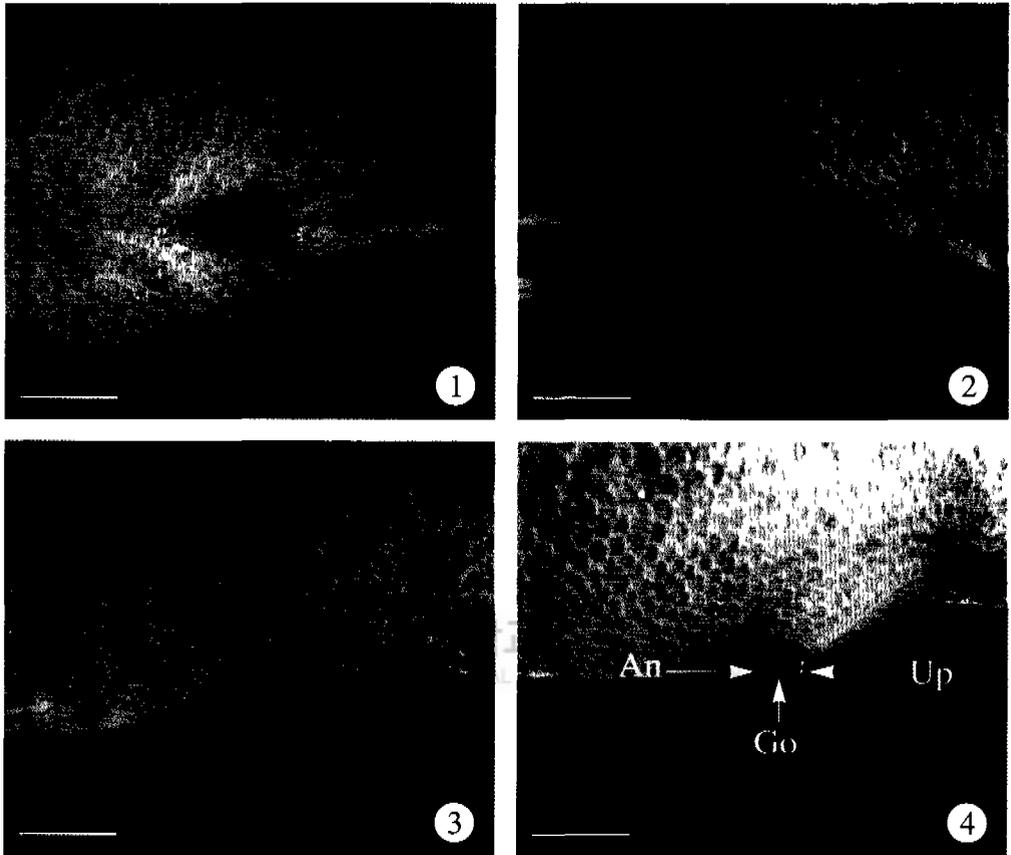


Fig. 15 External feature of genitalia in female black rockfish reared under artificial control of environment. An: anus, Go: genital opening, Up: urinary papilla ①: external morphology of genitalia, ②: immature stage, ③: copulation stage, ④: gestation and parturition stage Scale bar = 2 cm

형상과 색채의 변화로 성숙시기 및 교미시기 그리고 출산시기를 외관상 구별할 수 있었으며, 또한 이러한 외부적인 특징들은 배발생의 진행상태와 밀접한 관계가 있다는 사실을 알 수 있었다.

2) 생식소중량지수 월 변화

(1) 수컷

실험기간동안 수컷의 GSI의 변화는 Fig. 16에 나타났다. 처리구와 대조구 모두 1996년 4월부터 6월까지의 GSI가 평균 0.1로 비교적 낮은 값을 보였지만, 대조구는 8월에 접어들어 GSI 값이 서서히 증가하기 시작하여 사육수온이 15°C 인 11월에 평균 1.36으로 최고값을 나타내었으며, 그 이후 2월까지 GSI는 평균 0.4로 급격히 감소하다가 4월부터는 평균 0.2로 비교적 일정한 값을 유지하였다. 한편 처리구에서는 대조구와는 달리 GSI 값이 7월부터 증가하기 시작하여 9L · 15D, 수온 12°C 조건인 10월에 평균 1.3으로 가장 높은 값에 달하였다. 그리고 9.5L · 14.5D, 수온 10°C 조건인 11월에 접어들어 GSI 값이 급격히 감소하여 0.4로 낮은 값을 보였다.

(2) 암컷

실험기간동안 암컷의 GSI의 변화는 Fig. 16에 나타났다. 먼저 대조구에서 암컷의 GSI는 사육수온이 11°C인 2월부터 서서히 증가하기 시작하여, 사육수온이 15.5°C인 4월에 평균 46.5로 최고값을 보였다. 한편 1996년 6월부터 광주기·수온을 조절한 처리구에 있어서 암컷의 GSI는 14L : 10D, 수온 14°C 조건인 1997년 2월에 평균 42.0으로 최고값에 달하였다.

이상의 GSI 변화를 종합해 보면 대조구에서 수컷의 GSI는 암컷의 GSI값보다 5개월 앞서 최고값을 가졌고, 광주기·수온 조절을 한 처리구에서는 수컷 GSI의

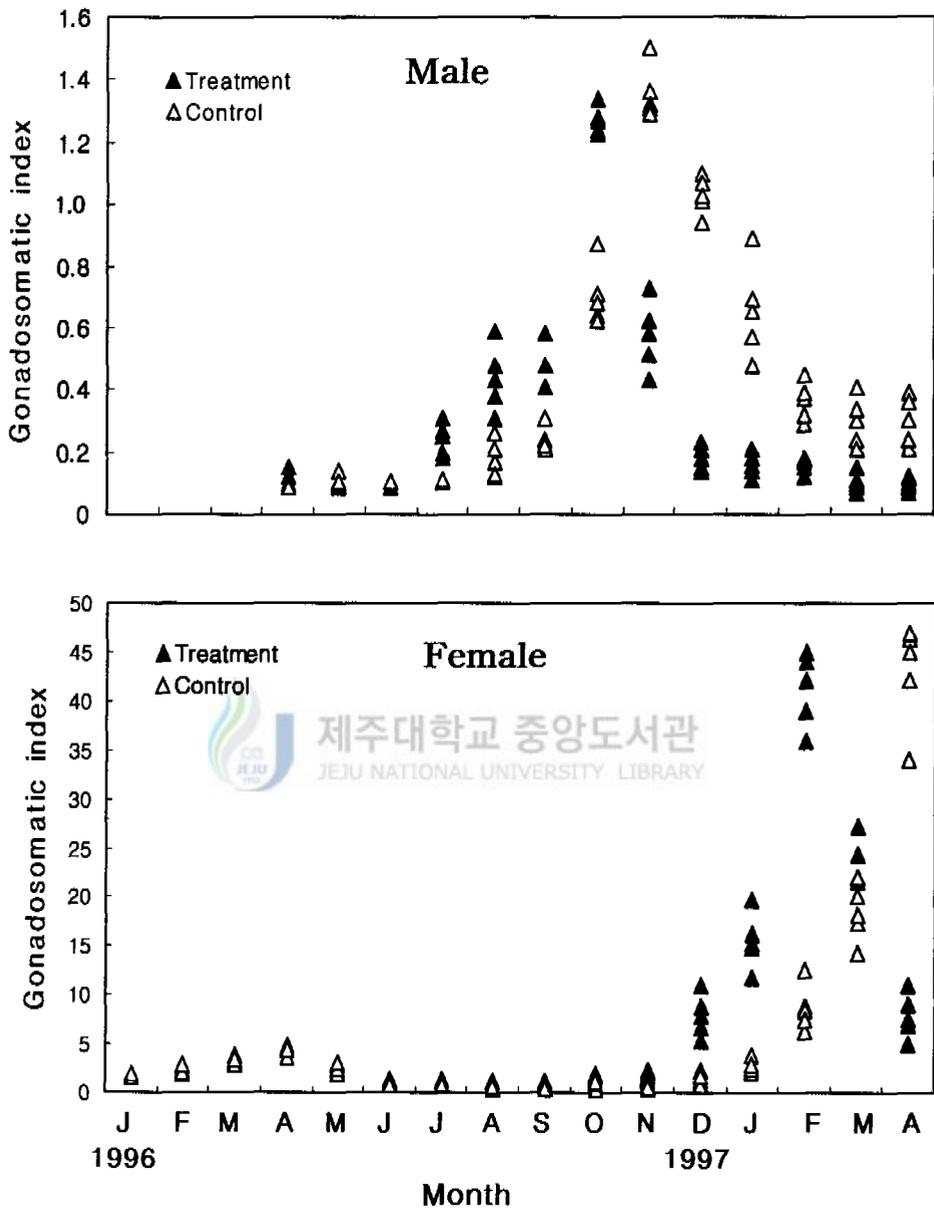


Fig. 16. Monthly changes of gonadosomatic index (GSI) estimated from treatment and control group of black rockfish.

최고값이 암컷보다 4개월 앞서 나타났다. 그리고 처리구와 대조구에서 암컷의 GSI는 각각 2월과 4월에 최고값이었고, 수컷의 경우에는 10월과 11월에 최고값을 보였다.

3) 배우자 형성과정

(1) 정자

실험에 사용된 수컷의 정소는 1996년 저수온기인 1월에서 4월까지 정소소관내에 잔존하는 정자 및 정세포들이 퇴화·흡수되는 휴지기 상태로서 정소소관 상피에 소수의 정원세포들이 분포하고 있었다(Fig. 17-①, ②). 한편 실험이 시작되는 6월에는 처리구와 대조구 모두 정소는 초기 성장기 단계로서 정소소관을 따라 정원세포의 분열증식이 이루어지고 있었으며, 또한 정소소관 내에는 수 많은 포낭구조를 형성하고 있었다. 정원세포들은 세포질이 비교적 빈약하나 핵이 뚜렷하고, 핵내에는 한개의 인이 존재하고 있었다. 제1정모세포들 또한, 소수 그룹을 지어 분포하고 있었다(Fig. 18-①, ②).

8월들어 처리구의 정소는 제1정모세포, 제2정모세포, 정세포, 정자에 이르기까지 각 세포군을 내포한 포낭들이 분포하고 있어 활발한 정자형성 단계를 가지고 있었다(Fig. 19-①, ②).

1996년 10월초 수컷의 정소내에는 변태된 정자들이 무리를 형성하여 수정관내에 밀집되어 있었으며, 이들 정자(두부: $3 \times 2.5 \mu\text{m}$, 꼬리: $2.5 \times 7 \mu\text{m}$)의 두부들은 haematoxylin에 농염되어 과립상으로 관찰되었다(Fig. 20-①). 11월 하순에는 정소내에 소수의 잔존 정자들이 정소소관내에 분포하고 있었고, 소관상피가 재배치되어 있었다(Fig. 20-③). 1997년 2월중순의 정소는 정소소관 상피를 따라 다수의 정원세포들이 분포하고 있었다(Fig. 20-⑤). 그러나 대조구는 8월의 정소가 6월의 정소와 유사한 정원세포의 분열증식상을 보이고 있었으며(Fig. 19-③, ④),

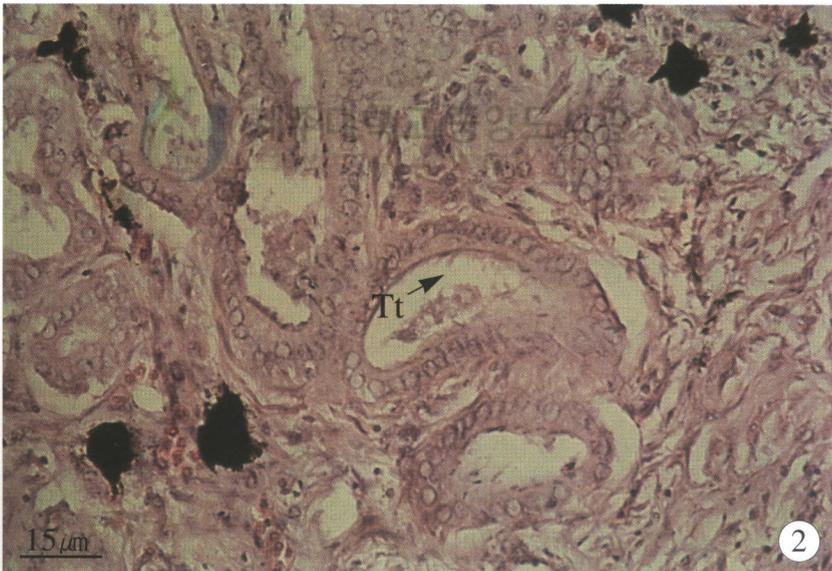
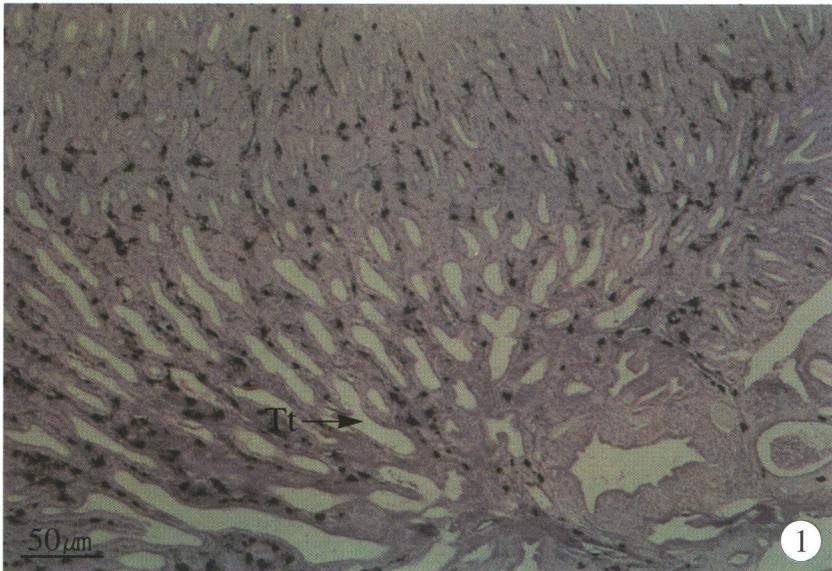


Fig. 17. Spermatogenesis observed from in the control group of black rockfish. ①, ② Testis composed of many seminiferous tubules in January to April. Tt. testicular tubule.

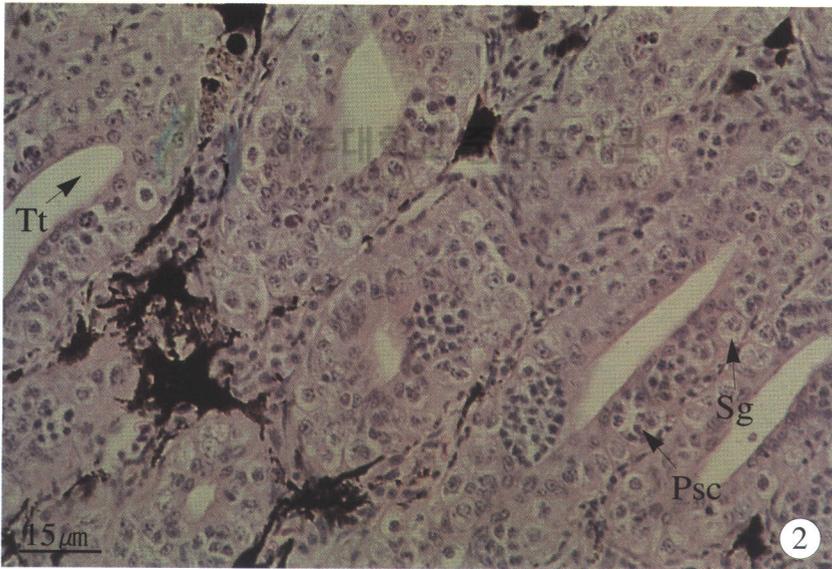
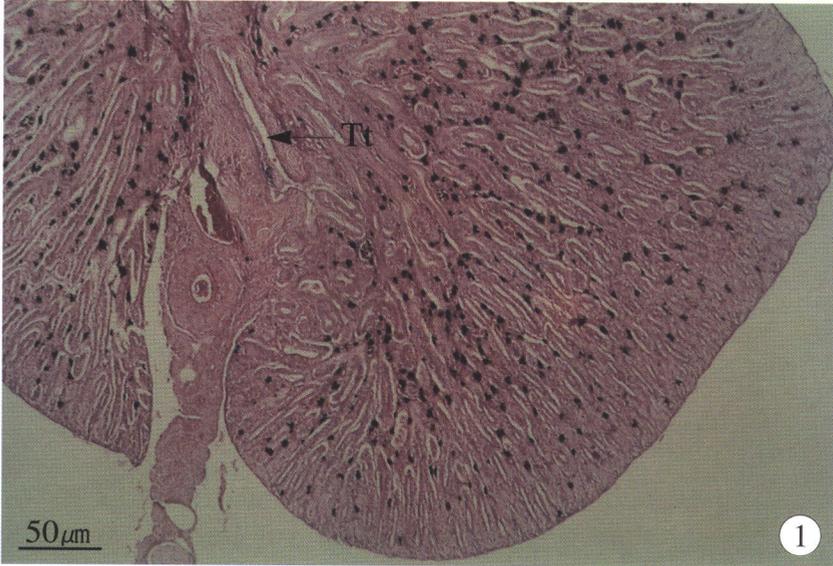


Fig 18 Spermatogenesis observed from both control (①) and treatment (②) group of black rockfish. ①, ②. Spermatogonia are distributed in the germinal epithelium of seminiferous tubules in June. Sg: spermatogonia, Psc' primary spermatocyte, Tt: testicular tubule.

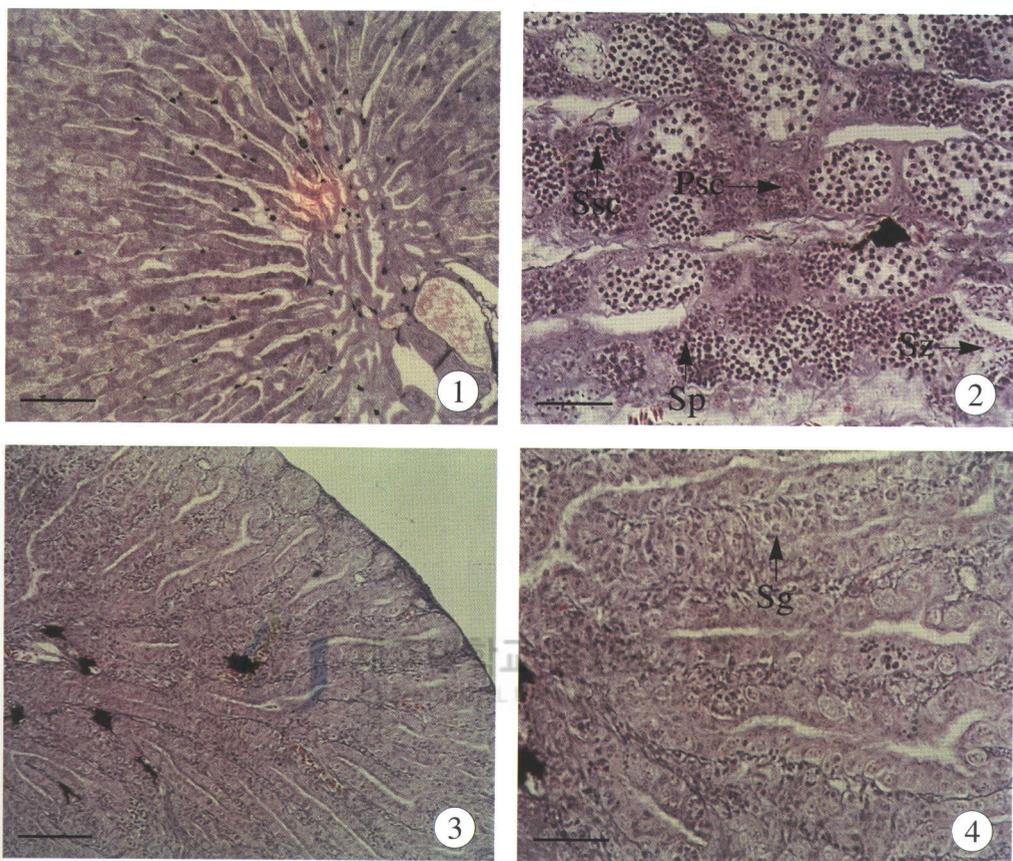


Fig 19. Spermatogenesis of black rockfish from treatment (①, ②) and control group (③, ④). ①, ②: Spermatocytes, spermatids are distributed with the testicular cyst in August. ③, ④: Spermatogonia and spermatocytes are distributed in the germinal epithelium of seminiferous in August.

Sg: spermatogonia, Psc: primary spermatocyte, Ssc: secondary spermatocyte, Sp: spermatid, Sz: spermatozoa Scale bar = 15 μm.

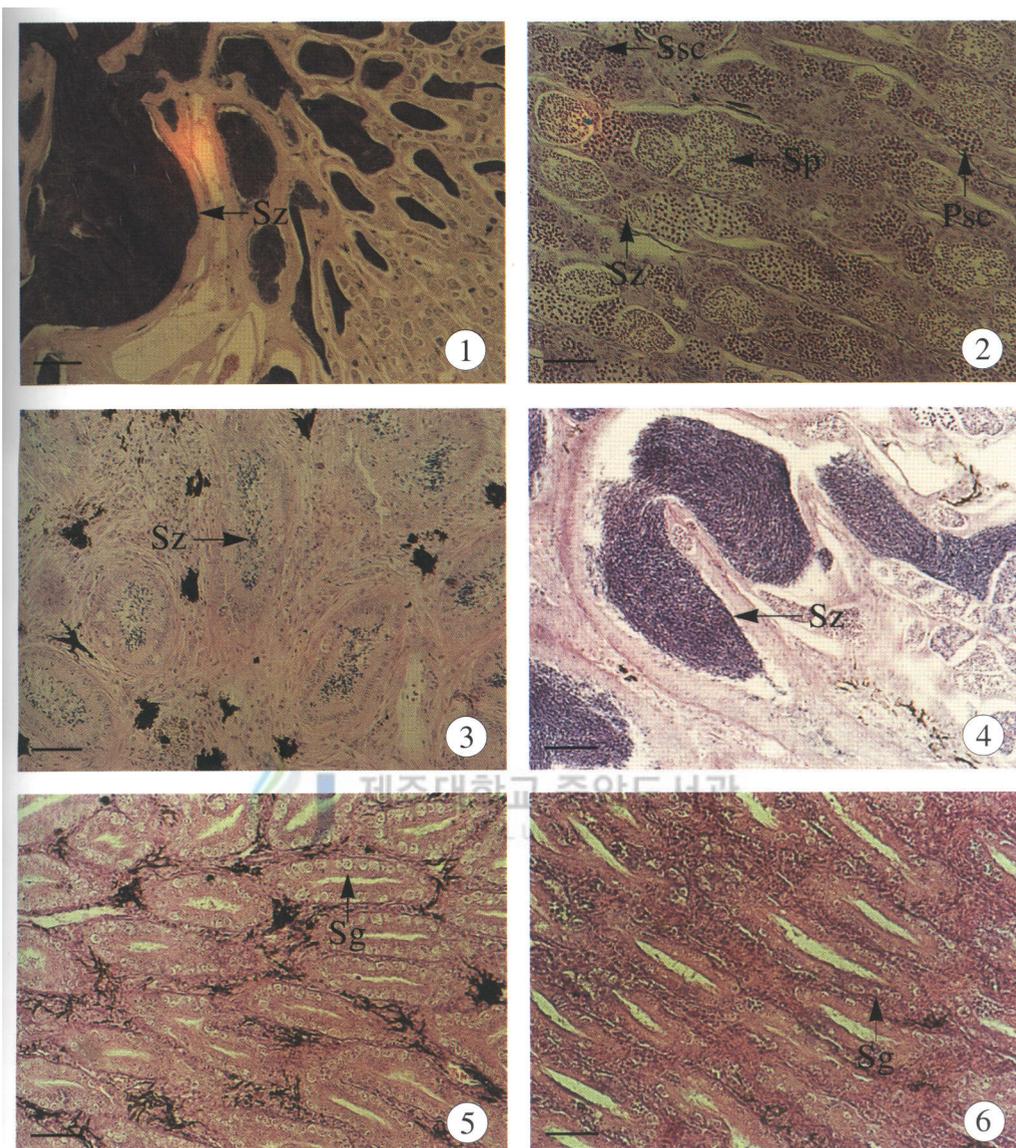


Fig. 20 Spermatogenesis of black rockfish from treatment (①, ③, ⑤) and control (②, ④, ⑥) group. ①' Ripe and spent stage in early October ②. Mature stage in early October ③: After spent stage in late November. ④' Ripe and spent stage in late November. ⑤' Resting stage in mid-February. ⑥' Resting stage in mid-February. Sz: spermatozoa, Sg: spermatogonia, Psc: primary spermatocyte, Ssc: secondary spermatocyte, Sp: spermatid, Sz: spermatozoa. Scale bar = 100 μ m.

10월초에는 처리구에 비해 1개월 늦게 정소내에 정모세포, 정세포 그리고 일부 정자들이 정소소관내에 가득차 있었다(Fig. 20-②) 11월하순에는 정소관 상피를 따라 정세포와 정자들이 무리를 지어 분포하고 있었으며, 정소소관내에는 정자들이 소수 분포하고 있었다(Fig. 20-④). 2월 중순에는 정소의 정소소관 상피를 따라 정원세포들이 배열되어 있었다(Fig. 20-⑥)

(2) 난자

실험에 사용된 암컷의 난소내에는 1996년 1~3월에 걸쳐 난경 480 μm 전후의 완숙란과 50 μm 내외의 어린 난모세포가 분포하고 있었다. 완숙란의 세포질에는 대부분 난황구와 유구들이 차지하고 있었고, 핵막은 거치화 되면서 동물극 쪽으로 이동하고 있었다. 그리고 완숙란의 가장자리에는 eosin에 짙게 염색된 방사선대와 여포세포층이 발달하고 있었다. 어린 난모세포는 핵주위에 몇개의 인들이 분산되어 있는 주변인기 난모세포들이 대부분을 차지하고 있었다(Fig 21-①, ②). 4월의 난소는 완숙란들이 모두 방란되고, 생식상피들이 흩어져 있었으며, 소수의 주변인기 난모세포들만이 분포하고 있었다(Fig 22-①, ②). 실험이 시작되는 6월의 난소는 생식상피들이 재배치되면서 난경 50 μm 내외의 주변인기 난모세포들이 대부분 차지하고 있었다. 이들 어린 난모세포의 세포질은 haematoxylin에 농염되었고, 호염기성인 과립상 인들이 핵막을 따라 일정하게 배열되어 있었다(Fig. 22-②).

처리구는 1996년 8월 광주기·수온을 조절한 처리구의 난소는 대조구와 유사한 발달단계의 난모세포들로 100 μm 내외의 유구기 난모세포와 50 μm 의 주변인기 난모세포들이 분포하고 있으며, 생식상피를 따라 대조구 보다 많은 수의 난모세포들이 분포하고 있었다(Fig. 23-①).

10월 중순에는 난소내에 난경 250~280 μm 되는 유구기 난모세포와 난경 50~

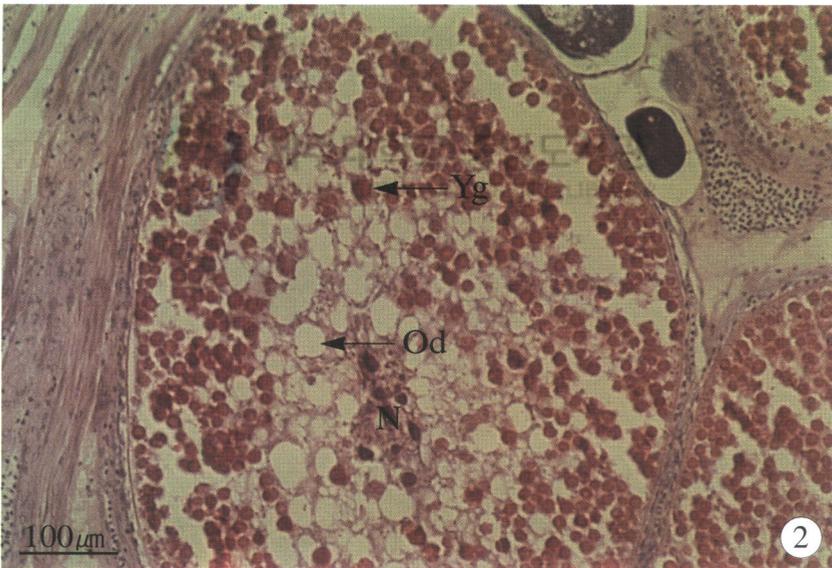
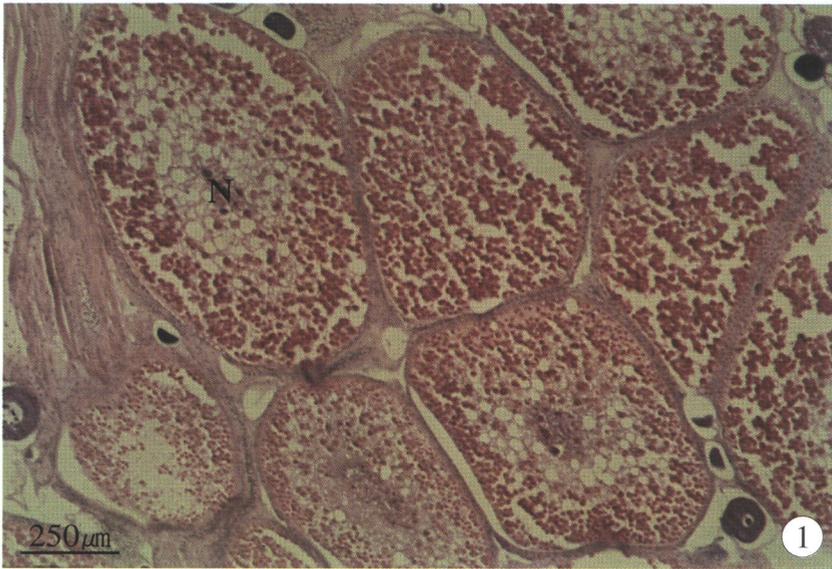


Fig. 21 Oogenesis observed from treatment (①) and control (②) group of black rockfish. ①, ②: Ovary are filled with mature oocyte and oocyte of peri-nucleolus stage from January to March. N: nucleus, Od: oil droplet, Yg: yolk granule.

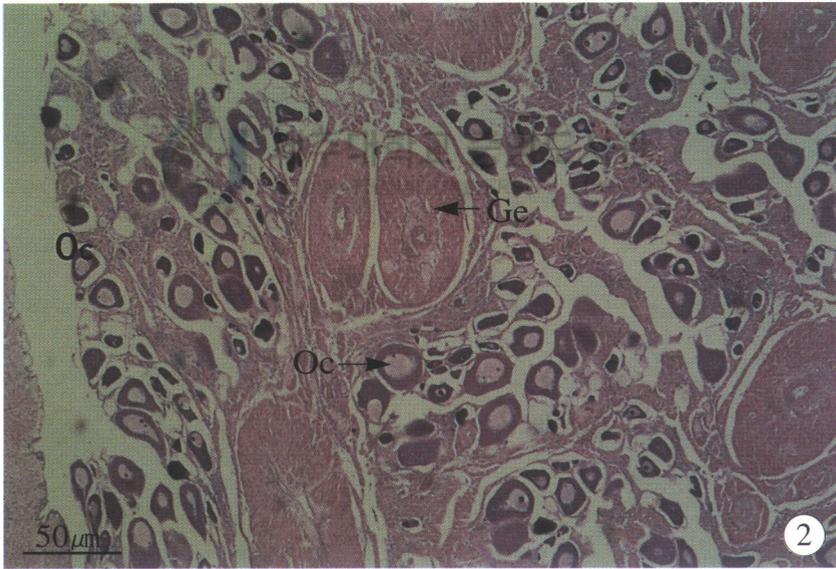
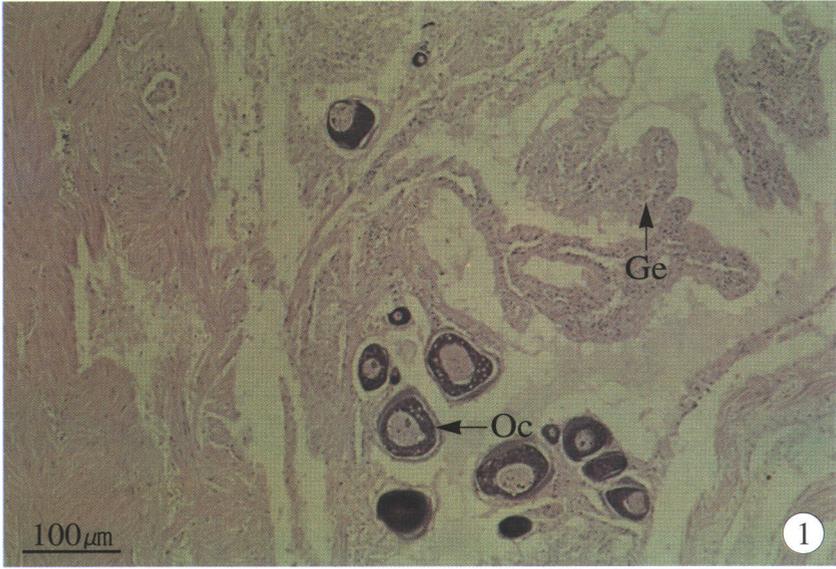


Fig 22 Oogenesis observed from treatment (①) and control (②) group of black rockfish. ①, ②. Ovary composed of many germinal epithelium and oocyte of peri-nucleolus stage from April to June Ge: germinal epithelium, Oc: oocyte

70 μm 인 주변인기 난모세포들이 혼재하고 있었다. 그리고 직경이 250 μm 크기로 성장한 난모세포의 세포질내에는 유구들이 출현하였다. 유구들은 처음에 세포질 피질부로 부터 작은 소포 형태로 나타났다 이후 난모세포의 성장과 함께 유구들은 점진적으로 그 수가 증가하면서 핵막 주변 내질까지 확산되었다. 그리고 난막 외층에는 여포층이 형성되었다(Fig. 23-②).

11월초에는 성장이 빠른 난모세포의 세포질에는 난황구와 유구들이 분포하였으며, 난경은 400~430 μm 전후로 성장하였다. 그리고 난모세포들 사이의 간질에 소수의 정자(두부: 3×2.5 μm , 꼬리: 2.5×7 μm)들이 분포하고 있었다(Fig. 23-③).

11월중순의 난모세포는 난경이 550~600 μm 전후의 완숙란에 달하였고, 세포질은 호산성 난황구와 유구들로 밀집되어 있었다 그리고 완숙란의 가장자리에는 eosin에 질게 염색된 방사선대와 여포세포층이 발달하고 있었다. 난황구들은 거의 균질성을 나타내고 있었다 이 시기 핵의 핵막은 거치화되면서 응축되고 있었으며, 난 세포질 중앙에 위치하고 있던 핵이 동물극을 향하여 이동하고 있었다(Fig. 23-④).

1997년 1월중순의 난소내에는 난소강에서 배발생이 진행되는 수정란들로 가득차 있었다. 수정란의 세포질은 균질화되어 있고 동물극쪽에서 난할이 일어나고 있었다. 이때의 배 발생 단계는 16세포기에서 32세포기에 이르고 있었다(Fig. 23-⑤). 한편 2월하순(2월 22일)에는 난황을 품은 자어들이 가득차 있었고 이 시기에 성장이 빠른 개체는 출산이 일어났다(Fig. 23-⑥).

대조구는 1996년 8월 대조구의 난소내에는 100 μm 내외의 유구기 난모세포와 50 μm 의 주변인기 난모세포들이 분포하였으며(Fig. 24-①), 11월초에는 난소내에 난경이 180~220 μm 되는 초기 유구기 난모세포와 난경 50~70 μm 되는 주변인기 난모세포들이 혼재하고 있다(Fig. 24-②). 한편 11월중순에는 성장이 빠른 난모세포는 세포질에 난황구를 가지며, 난경이 400 μm 에 이르고 있었다(Fig. 24-③).

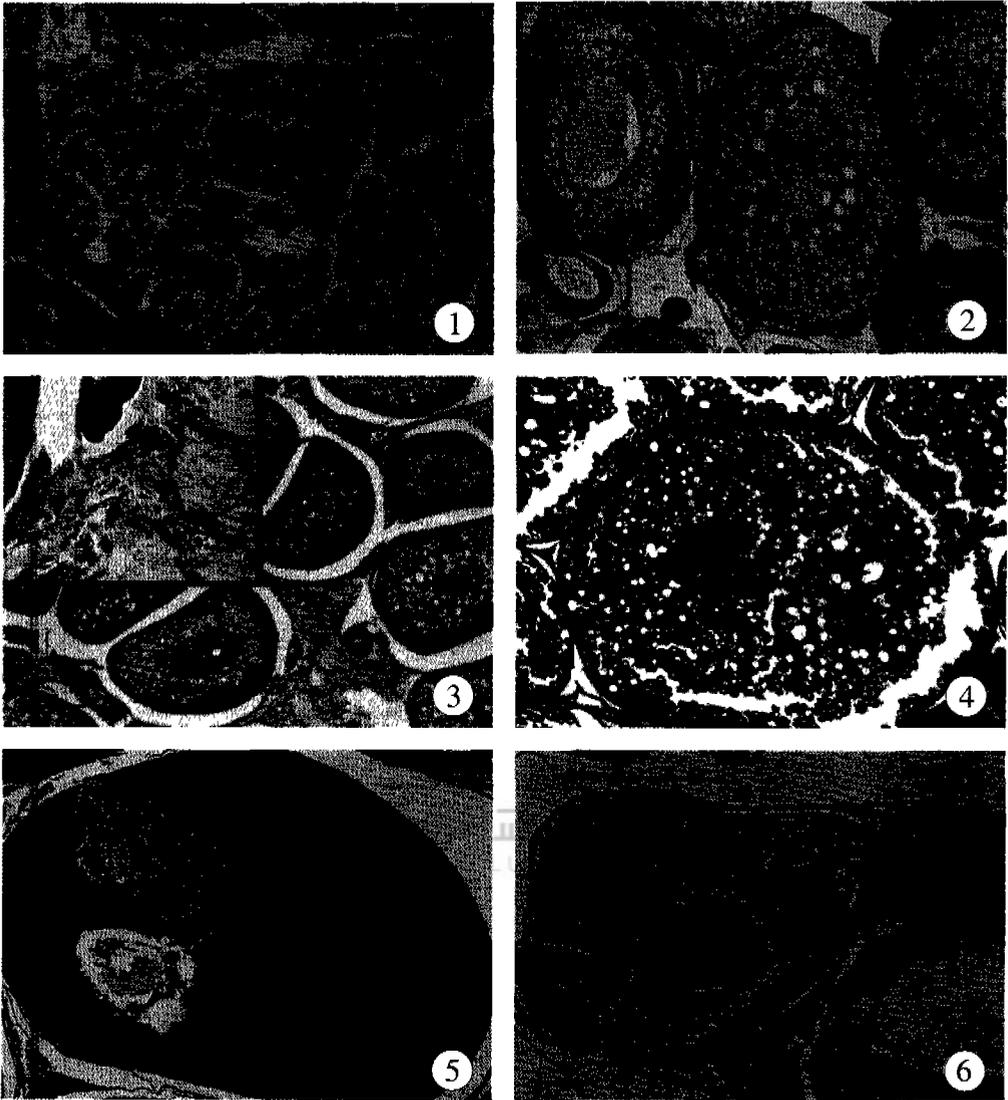


Fig. 23. Oogenesis observed from treatment group of black rockfish

- ① Many oocytes of peri-nucleolus stage were distributed within ovarian lamallae in August
 - ② Ovary composed of the oocyte of peri-nucleolus stage and yolk vesicle stage in mid-October
 - ③ Oocytes of yolk stage and spermatozoa are distributed within ovarian lamallae in early November.
 - ④ Oocytes of migratory nucleus stage were distributed within ovarian lamallae in mid-November.
 - ⑤ Fertilized eggs were distributed within ovarian cavity in mid- January
 - ⑥ Larvae were distributed within ovarian cavity in late February.
- Pno: peri-nucleolus oocyte, N: nucleus, Od: oil-droplet, Yg yolk glouble, Sz: spermatozoa, Yv' yolk vesicle Scale bar = 50 μ m.

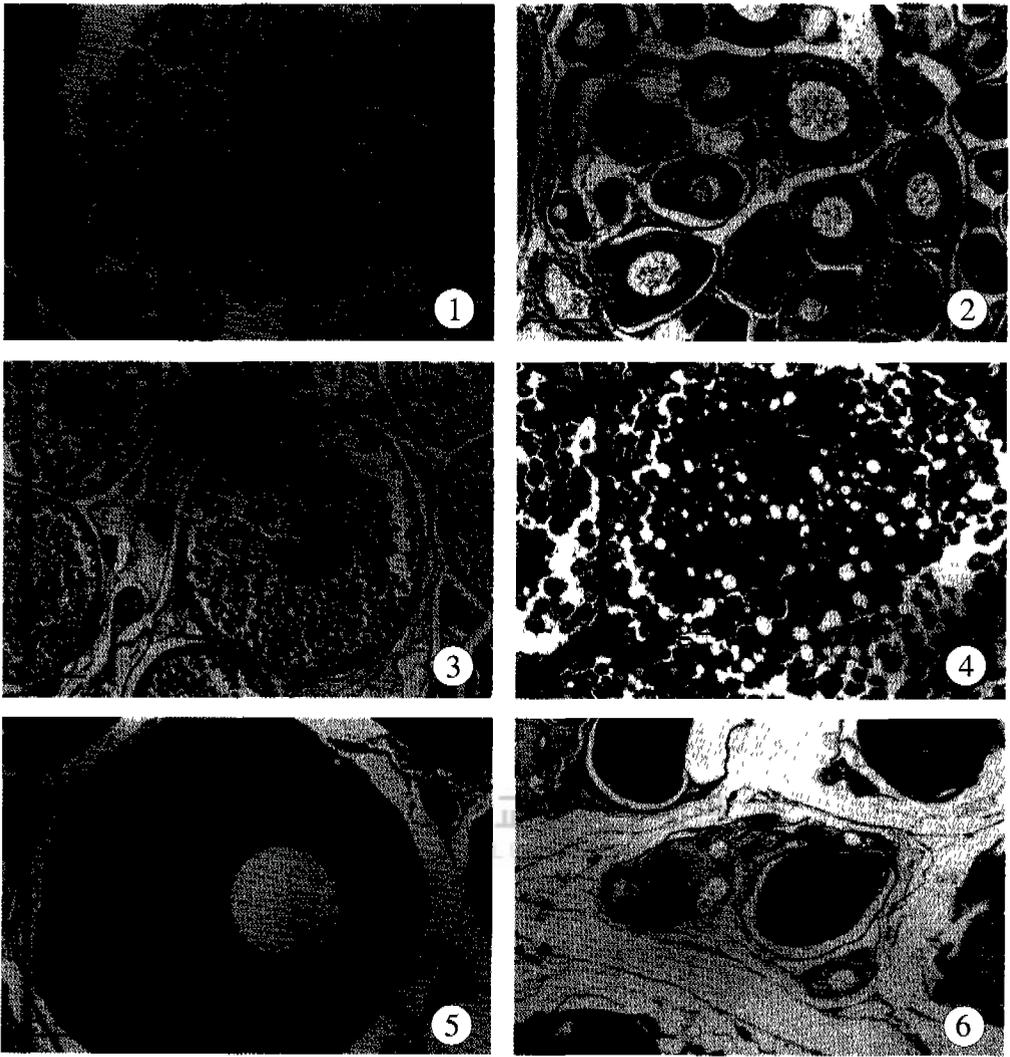


Fig 24 Oogenesis observed from control group of black rockfish.

- ①: Many oocytes of peri-nucleolus stage were distributed within ovarian lamallae in August
 - ② Oocytes of peri-nucleolus stage and oil-droplet stage were distributed within ovarian lamallae in early November.
 - ③ Oocytes of yolk stage were distributed within ovarian lamallae in mid-November
 - ④ Oocytes of migratory nucleus stage were distributed within ovarian lamallae in mid-February.
 - ⑤: Fertilized eggs were distributed within ovarian cavity in March.
 - ⑥. Larvae were distributed within ovarian cavity in April.
- Pno' peri-nucleolus oocyte, N' nucleus, Od oil-droplet, Yg: yolk glouble, Yv yolk vesicle Scale bar = 50 μ m

1997년 2월중순 난모세포의 세포질에 호산성 난황구와 유구들이 밀집되어 있었고, 난경은 550~600 μm 에 달하였으며, 이 시기에 배포는 동물극 쪽으로 이동하고 있었다(Fig. 24-④). 3월에 접어들어 난소내에는 수정란들이 분포하기 시작하였고(Fig. 24-⑤), 4월 14일부터 일부 개체의 난소내에는 난황을 품은 자어들이 출현하고 있었다(Fig. 24-⑥)

4) 교미 및 체내 난발생

(1) 교미

광주기·수온 조절에 의한 성숙속 유도과 이에 따른 조기교미, 교미 후 난소내 난의 성숙과 수정 그리고 초기 발생을 조직 생리학적으로 조사하였다. 광주기와 수온을 인위적으로 조절한 처리구가 자연조건인 대조구에 비해 교미후 수정에서 출산까지 1차실험(1996년)에서는 38일, 2차실험에서는 78일이상 빠르게 성숙을 유도할 수 있었다. 즉 1차실험에서 대조구의 교미시기는 1996년 11월 27일, 수정시기는 1997년 3월 4일, 출산개시는 1997년 4월 14일 이었는데 반하여, 광주기와 수온을 조절한 처리구에서 교미시기는 1996년 10월 27일, 수정시기는 1997년 1월 15일, 출산개시는 1997년 2월 22일에 일어났다. 그리고 교미시기를 1차실험보다 40일 앞당긴 2차실험(1997년)에서는 9월 중순에 교미조건을 처리한 결과 출산이 1998년 1월 12일부터 시작되었다(Table 5). 한편 조피볼락의 교미시기를 판단하기 위하여 외부 형태학적으로 조사한 결과 Fig 25-①에서 보는 것 처럼 수컷의 생식돌기는 교미시기가 가까워지면 미성숙기에 비해 생식돌기가 아주 비대하고 특히, 선단 부위가 검붉은색으로 변하였다. 그리고 수컷의 정소내에는 방출직전의 정자들이 많이 존재하고 있었으며, 이때 정소내에 있는 정자의 크기는 두부가 $3 \times 25 \mu\text{m}$, 꼬리가 $2.5 \times 7 \mu\text{m}$ 내외였다(Fig. 25-②). 교미시기가 되어 교미가 이루어진 암컷의 생식소내에는 난모세포들 사이의 간질에 소수의 정자들이 분포하

Table 5. Conditions of photoperiod and water temperature artificially controlled during the course of copulation, fertilization and parturition

	Control group			Treatment group					
	First experiment			First experiment			Second experiment		
	Copulation	Fertilization	Partuition	Copulation	Fertilization	Partuition	Copulation	Partuition	
Date	Nov 27 1996	Mar. 4. 1997	Apr. 14	Oct 27. 1996	Jan. 15. 1997	Feb. 22	Sep 15	Jan. 12. 1998	
Photoperiod (Light/Dark)	10 / 14	12 / 12	13 / 11	9 / 15	12 / 12	14 / 10	9 / 15	14 / 10	
Water temperature (°C)	14	12	15	12	12	14	12	14	

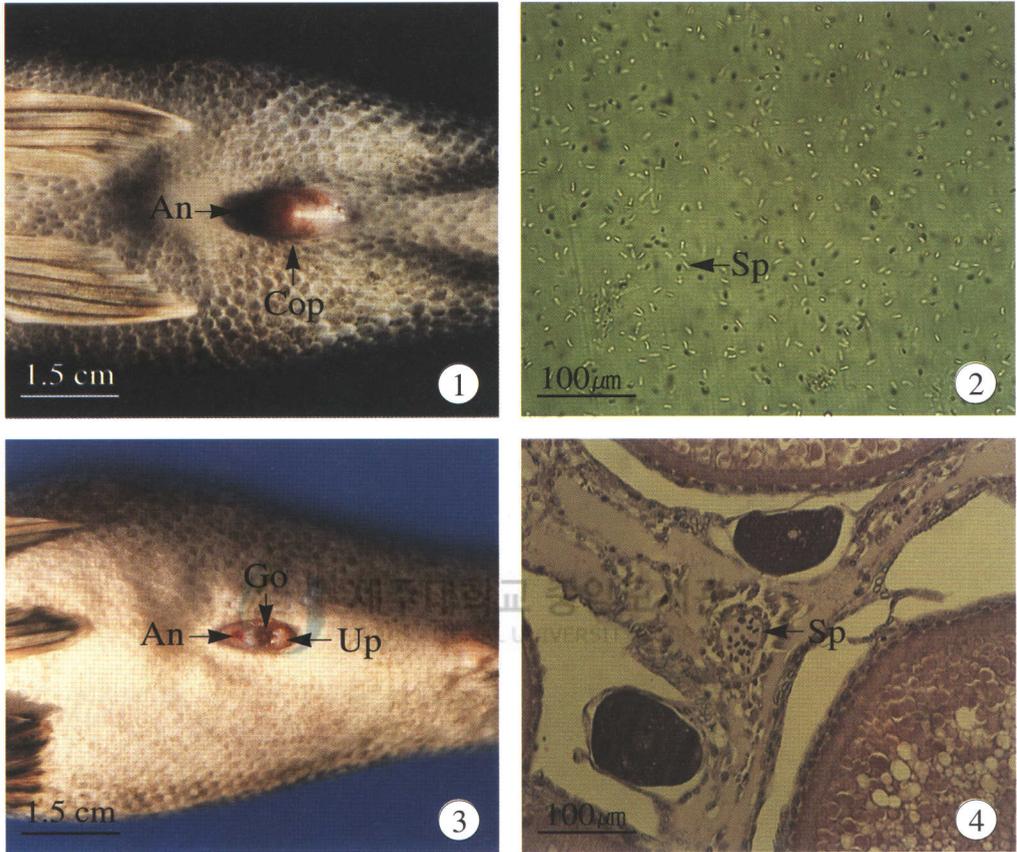


Fig 25 External morphology of male and female sexual organs in male and female black rockfish observed at the presumptive copulation time. Sp: spermatozoa, An: anus, Go: genital opening, Up: urinary papilla, Cop: copulation organ.

고 있는 것이 관찰되었다(Fig. 25-④). 또한 암컷의 외부생식공은 미성숙기에는 뚜렷한 특징이 없지만 생식공 주위에 약간의 충혈 및 자색 또는 암청색의 색채 변화를 나타내어(Fig. 15-③), 암컷과 수컷의 외부 형태만으로도 교미시기를 알 수 있었다.

(2) 체내 난발생

교미후 수정 및 체내 난발생은 1997년 1월 15일 광주기 13L : 11D, 수온 13℃에서 수정이 이루어지고, 수정난의 발생은 난소강에서 진행되었으며, 이 시기의 배 발생 단계는 16세포기에서 32세포기에 달했다(Table 5). 그리고 수정이 이루어진 이후, 출산시기가 가까워지면 임신한 암컷은 생식공 부위를 중심으로 양쪽 복부가 팽만하여 볼록해지면서 후방으로 약간 처진 “ω”형태의 체형을 나타내었다. 그리고 암컷의 항문, 생식공 및 비뇨돌기의 개구부위는 현저하게 팽출하며, 또한 그 주변부위의 표피는 암청색 혹은 암자색을 띠었다(Fig 25-③). 그리고 출산이 가까워지면 생식소내에는 난황을 품은 자어들로 가득 차 있고, 또한 이 시기에 성장이 빠른 개체부터 출산이 일어났다(Table 5).

5) 번식주기

생식세포 발달의 조직학적인 관찰과 GSI의 변화를 종합하여 수컷의 번식주기를 구분하였다. 수컷의 경우는 성장기(growing stage), 성숙기(mature stage), 완숙 및 교미기(ripe and copulation stage), 그리고 휴지기(resting stage) 4단계로 구분하였고(Fig. 26), 암컷의 경우에는 성장기, 교미 및 성숙기, 그리고 임신 및 출산기(gestation and parturition stage), 휴지기(resting) 4단계로 구분하였다(Fig. 27).

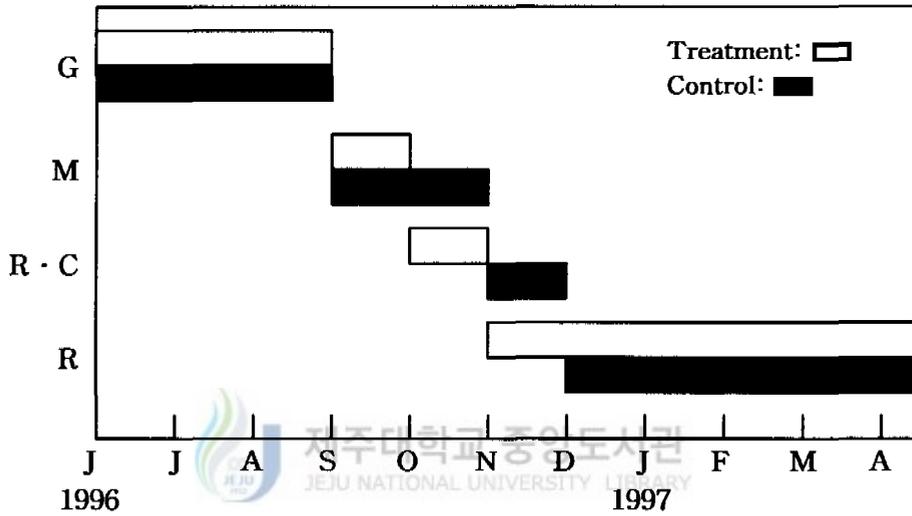


Fig 26. Monthly changes in the gonadal phases of male black rockfish. G: growing stage, M: mature stage, R·C: ripe and copulation stage, R: resting stage.

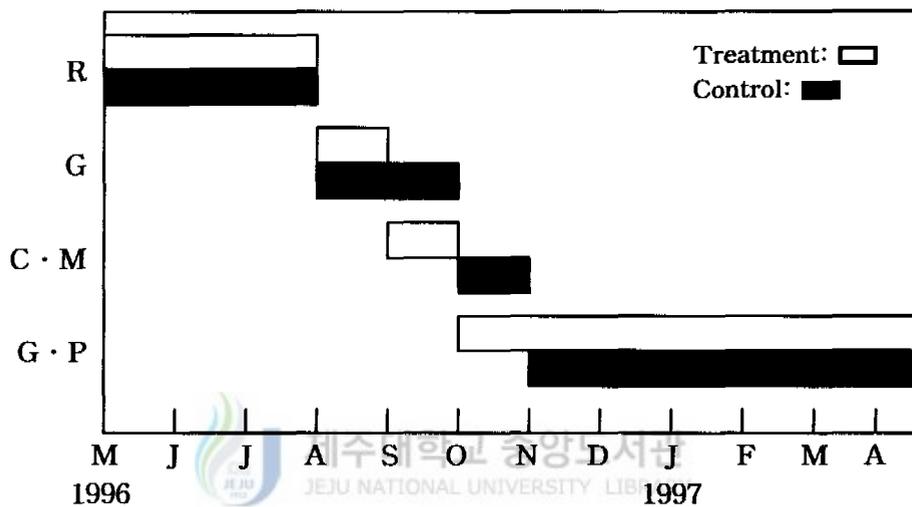


Fig. 27. Monthly changes in the gonadal phases of female black rockfish. G: growing stage, C·M: copulation and mature stage, R: resting stage. G·P: gestation and parturition stage.

(1) 수컷

1996년 6월에서 8월까지 대조구의 정소는 성장기로서 정소내에는 정원세포와 정모세포들이 출현하고 있었다. 그리고 10월의 정소는 성숙기로써 정모세포, 정세포 그리고 변태된 정자에 이르기까지 각 세포군들이 분포하고 있었다(Fig. 20-②). 11월에는 완숙 및 교미기로 정소내에는 정소관 상피를 따라 정세포와 정자들이 분포하고 있었으며, 수정소관내에는 변태된 정자들로 가득 채워져 있었다(Fig. 20-④). 교미가 끝난 12월에서 1997년 2월까지의 미방출된 소수의 정자무리들이 수정소관내에 분포하고 있었으며, 생식소는 결체조직과 정원세포들이 출현하는 휴지기 상태였다 한편 광주기와 수온을 인위적으로 제어한 처리구는 대조구에 비해 이와 같은 정소의 성숙과정이 1개월 빨리 진행되었다.

(2) 암컷

대조구의 난소에서는 완숙란들이 모두 방란되고 생식상피상에 소수의 어린 난모세포와 주변인기 난모세포들만이 분포하고 있는 휴지기 단계였으며, 8월에는 성장기로 난원세포의 분열중식과 더불어 50 μm 내외의 주변인기 난모세포와 100 μm 내외의 난황포기 난모세포가 출현하였다 11월초부터 1997년 3월까지의 교미 및 성숙기로서 550~600 μm 내외의 완숙란과 수정란을 가지는 개체들이 출현하였다(Fig. 24-③~⑤). 4월에는 임신 및 출산기로 난소내에는 난황을 가진 어린 자어들이 존재하거나 출산을 하였다. 한편 광주기와 수온을 인위적으로 제어한 처리구는 1996년 6월 성장기에서 1997년 2월 임신 및 출산기까지의 성숙과정이 대조구에 비해 2개월 앞서 조기에 이루어졌다(Fig. 24-⑥).

4. 출산 조절 및 자·치어 사육

1) 출산

(1) 호흡수 측정에 의한 출산 예측

조피볼락은 출산시기가 가까워지면 생식공 부위를 중심으로 하여 “ω” 형태의 체형을 갖는다. 생식공을 포함하여 그 후방 쪽으로 비뇨돌기가 현저하게 솟아오르고, 그 주변부위가 암청색을 띄며, 이때 출산직전 어미의 생식공은 최대로 팽창되고, 그 속에는 은빛을 띤 자어의 안포들이 관찰되었다(Fig. 15-④).

평상시 조피볼락 호흡수는 30회/분 내외이지만, 난소내 자어가 점차 성장 발달하게 되면 호흡수도 일정하게 빨라지기 시작하여, 생식공을 통하여 자어의 안포가 은색으로 다수 발견되는 시기에는 호흡수는 42~43회/분로 빨라졌다(Table 6).

출산시기의 호흡수는 사육수온과 어체의 크기에 따라서 다소 차이가 있으나, Table 6에서 처럼 수온 13.5~13.8℃에서 체중 2.2~2.9 kg되는 어미는 호흡수가 47~48회/분 정도가 되면 출산이 일어났으며, 1.6~2.0 kg되는 소형 어미에서는 호흡수가 50~54회/분 내외일 때 출산하였다.

이러한 호흡수와 출산일과의 관계는 5~6세 이상의 고령군, 특히 이 연구에서는 2년이상 인공사육을 계속한 대형 어미군에서는 개체간의 차이가 없이 거의 고르게 나타났다.

(2) 광주기·수온 조절에 의한 출산

자연 환경조건(대조구)에서 사육수조내의 광주기·수온 조건과 조피볼락의 교미, 수정, 출산결과는 Fig 28과 같다. 자연 환경조건에서 조피볼락의 교미는 1996년 11월 27일 광주기 10L : 15D, 수온 14℃에서 일어났으며, 교미 후, 수정은

Table 6. The relationship between the number of opercular movement and days required for parturition

Fish groups divided by their mean body weight	Days required for parturition																					
	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Parturition	
A (1.6 kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	52	52	53	53	53	54	54	
B (1.9 kg)	30	30	33	35	35	36	37	37	40	41	45	47	48	49	49	51	51	51	52	53	53	
C (2.0 kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	36	38	42	43	43	45	45	50	50
D (2.2 kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	38	40	41	43	44	46	47	47
E (2.4 kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	38	40	41	42	44	46	47	47
F (2.7 kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38	40	41	42	44	45	47	48	48
G (2.9 kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	38	39	41	43	45	47	48	48

Water temperature : (13.5~13.8℃)

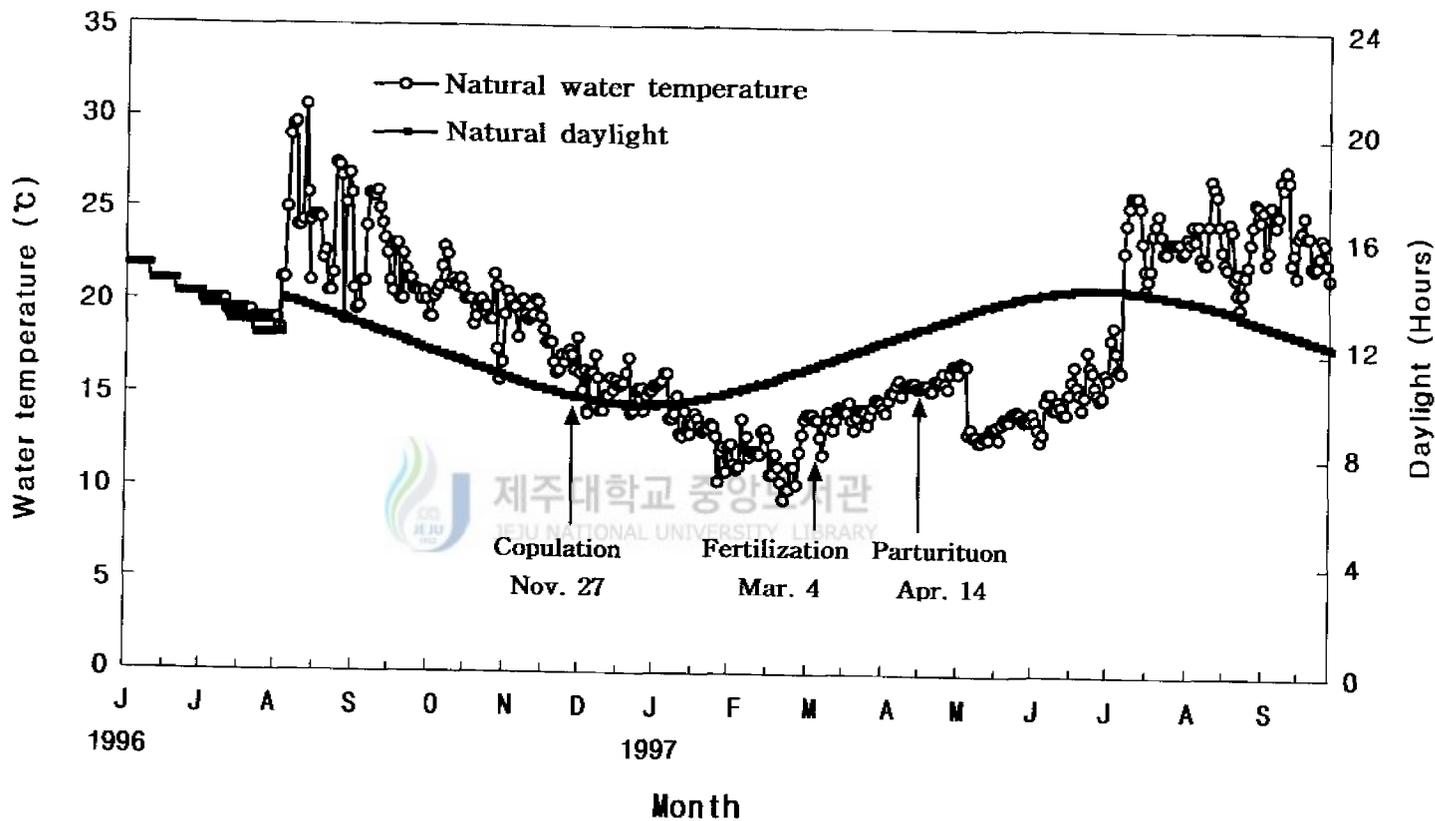


Fig. 28. The dates of copulation, fertilization and parturition in black rockfish reared under natural conditions of water temperature and photoperiod.

1997년 3월 4일 광주기 12L : 12D, 수온 12℃에서 확인되었고, 출산은 1997년 4월 14일 광주기 13L : 11D, 수온 15℃에서 이루어졌다(Fig. 28).

처리구에서 Time table (Table 1)을 이용하여 번식의 인위제어(교미, 수정, 출산)를 유도한 결과는 Fig. 29와 같다. 1996년 6월 1일 15L · 9D의 장일조건과 1996년 7월 수온 20℃에서 시작한 1차 광주기 및 수온 조건은 1996년 10월 27일 광주기 9L : 15D, 수온 12℃에서 교미가 이루어졌으며, 이후 수정은 1997년 1월 15일 광주기 12L : 12D, 수온 12℃에서 확인되었다. 수정이 확인된 후, 1997년 2월 22일 광주기 14L : 10D, 수온 14℃에서 첫 출산이 이루어졌다. 1차 실험결과를 토대로 계속 진행된 2차 광주기·수온 조절은 1997년 8월 20일부터 1차 실험 조건 보다 교미시기를 40일 앞당겨 처리한 결과 교미는 1997년 9월 15일에 이루어졌으며, 출산은 1998년 1월 12일부터 시작되었다.

이상의 결과에서 대조구(Fig. 28)는 교미에서 출산(1996년 11월 27일 ~ 1997년 4월 14일)까지 138일이 걸린데 반하여, 처리구에서는 1차실험에서 118일(1996년 10월 27일 ~ 2월 22일), 2차 실험에서는 119일(1997년 9월 17일 ~ 1998년 1월 12일)이 각각 소요되었다(Fig. 29)

(3) 출산전 가온의 영향

성성숙 촉진과 교미시기의 제어, 난소내 자어의 조기 발생에 따른 출산 조절을 위하여 광주기와 수온을 조절하여 사육한 조피볼락의 1997년도 출산 결과는 Table 7과 같다. 광주기와 수온을 조절한 처리구에서 어미의 첫 출산은 1997년 2월 22일에 1마리를 시작으로 3월 30일까지 53마리가 출산하였고, 대조구에서는 1997년 4월 1일부터 4월 30일까지 1개월에 걸쳐 41마리가 출산하였다. 한편 대조구외에 민간 배양장에서 생식소내에서 수정이 일어난 이후로 생각되는 1월 초순의 수온 10~11℃에서 가온을 시작하여 자연 환경에서 보다 수온을 빠르게 올

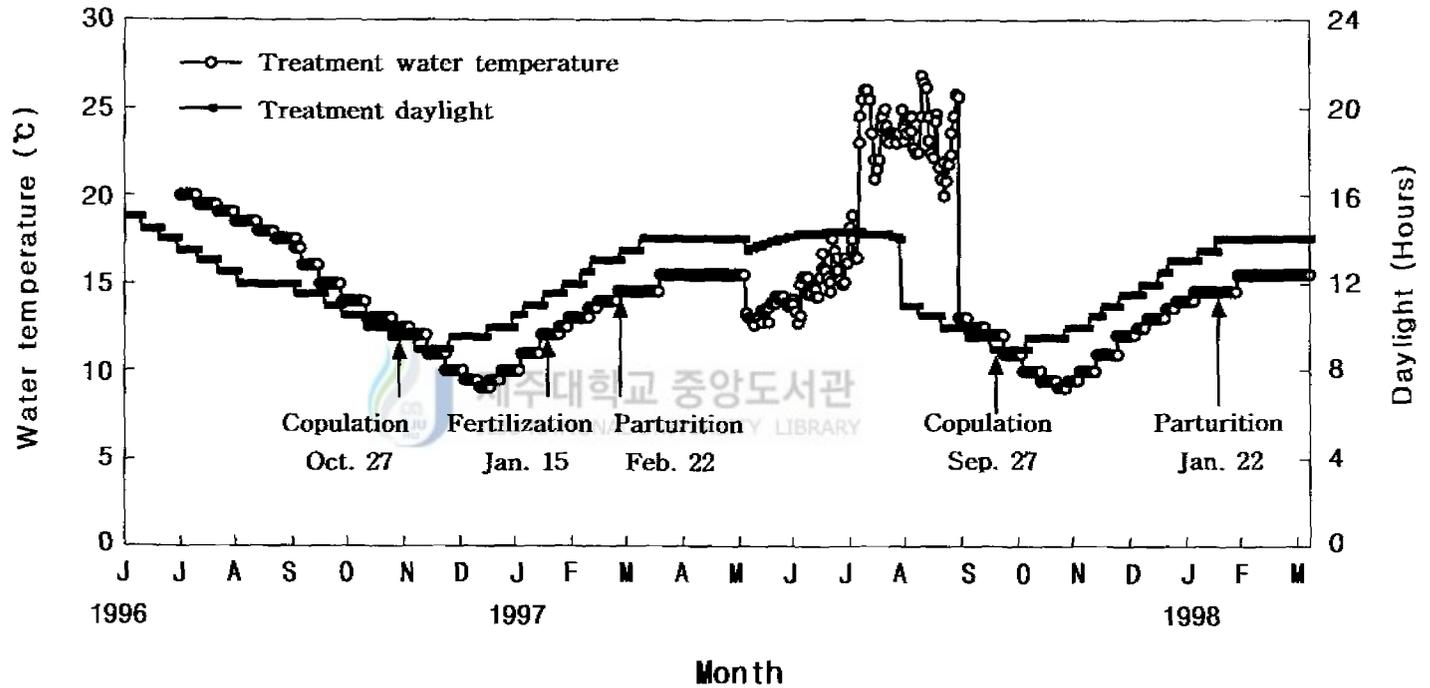


Fig. 29. The dates of copulation, fertilization and parturition in black rockfish reared under the artificial control of photoperiod and water temperature.

Table 7. Comparison of parturition dates observed from black rockfish when parturition was artificially induced by environmental control at commercial hatchery and marine research institute (MRI) in 1997

Parturition date	MRI		Commercial hatchery
	Treatment	Control	Treatment
Feb 22, 1997	1	0	0
Feb. 23 ~ Feb 28	6	0	0
Mar 1~ Mar. 14	34	0	0
Mar 15 ~ Mar. 30	12	0	14
Apr. 1~ Apr 30	0	41	38
Total	53	41	52
Imperfect parturition	4	5	15

린 경우 1997년 3월 15~30일 사이에 14마리가 출산하였고, 최종출산은 4월 30일에 일어났다. 이상의 결과에서 1차실험의 처리구에서 첫 출산은 대조구에 비해 40일, 민간인 배양장에 비하여 23일 빨리 출산하였다.

Fig. 30은 수정이후 발생이 진행중인 어미에 있어서 조기출산을 위하여 수온을 조기에 올렸을 때 비정상적인 출산을 초래한 결과를 나타냈다.

실험구 1은 수온 13℃에서 사육중인 출산기가 가까운(호흡수 36~37회/분) 어미 10마리를 14.9℃의 출산조로 옮긴 후, 3일만에 수온을 15.5℃로 올렸을 때 6일째 1마리, 7일째 3마리가 알 상태로 비정상적인 출산이 일어났다. 7일째 다시 수온을 13.2℃로 환원시키고, 5일동안 안정시킨 후 매일 0.2℃씩 수온을 올린 결과, 12일이 경과한 1월 23일에 수온 14.3℃에서 2마리, 1월31일 수온 15.1℃에서 4마리에서 정상적인 출산이 일어났다.

실험구 2는 실험구 1과 동일한 어미 14마리를 수온 13.0℃에서 매일 0.2℃씩 서서히 가온하였던 결과 배체의 발생이 순조롭게 진행되어 가온 8일째인 1월 12일부터 정상적인 첫 출산이 일어났으며, 이후 2월 19일까지 전 어미에서 정상적으로 출산하였다.

2차실험에서 조기 출산 유도조건 중 광주기·수온 조절을 통한 교미후 수정시기를 앞당기기 위하여 광주기·수온 조절에 의한 수온조건은 12.0~10.5℃로 조절하여 조기 출산을 유도하였다. 그 결과 1차시기보다 약 40일 앞선 1998년 1월 12일에 첫 출산이 일어나 1차실험보다 앞당겨 조기 출산이 가능하였으며, 또한 출산의 대부분이 1월 23일부터 2월 22일까지 1개월동안 집중적으로 이루어졌다(Table 8).

대조구로서 남해안의 민간 배양장에서는 수정 이후 수온만을 가온하여 출산을 유도한 경우에는 3월 19일 첫 출산이 일어났으며, 최종출산은 4월 4일에 일어났다.

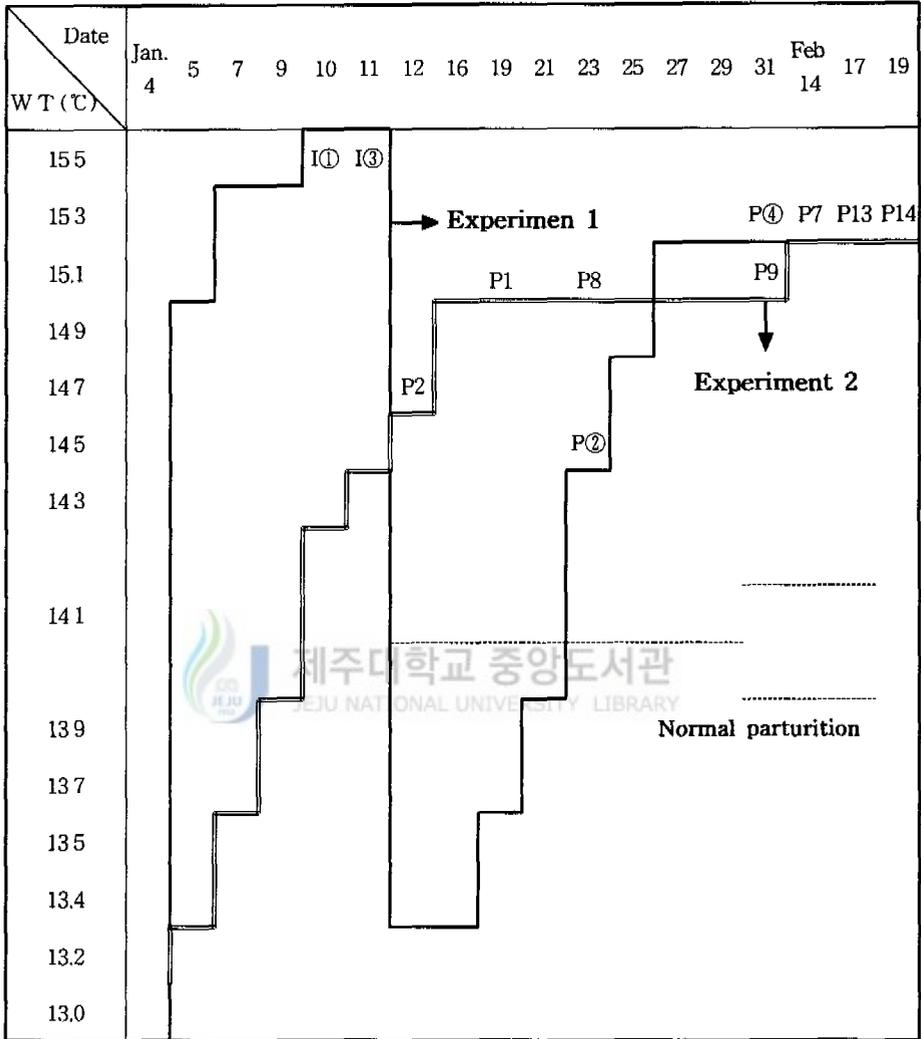


Fig. 30. The effect of water temperature on the parturition of black rockfish.
 I : imperfect parturition, P : perfect parturition. Numbers is individuals of parturition adult fish.

Table 8. Comparison of parturition dates of the black rockfish when parturition was artificially induced by environmental control at commercial hatchery in 1998

Parturition dates	Adult tank 1	Adult tank 2	Commercial hatchery
Jan. 12	2	1	-
19	1	2	-
20	-	1	-
23	2	6	-
31	5	4	-
Feb. 14	6	1	-
17	8	5	-
19	5	9	-
20	-	4	-
22	6	-	-
24	-	3	-
26	2	6	-
28	2	3	-
Mar. 1	1	-	-
6	-	-	-
13	-	-	-
15	-	-	-
16	-	-	-
18	-	-	-
19	-	-	1
20	-	-	-
21	-	-	1
23	-	-	1
24	-	-	7
25	-	-	9
26	-	-	11
28	-	-	8
29	-	-	7
30	-	-	10
31	-	-	9
Apr. 1	-	-	4
4	-	-	5
Abnormal parturition	1	2	11

(4) 출산시각

조피볼락의 출산은 주로 해가 진 후 밤 8시 이후부터 새벽녘 사이에 일어났으며, 그 중에서도 밤 10시부터 새벽 4시 사이에 91%가 출산하였고, 특히 밤 12시부터 새벽 2시 사이에 78%가 출산하였다. 그리고 일부의 어미는 낮 시간에도 출산하였지만, 대부분 비정상적인 출산으로서 죽은 자어를 출산하거나 일부만 정상개체를 출산하였고, 일부 내용을 확인할 수 없는 사란과 함께 수조 위에 유막을 형성하는 상태로 출산하는 경우가 많았다(Table 9).

Table 9. Parturition time of black rockfish, *S. schlegeli*

Year	Parturition time												Total
	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	24:00	02:00	04:00	06:00	
1997	3	0	0	3	0	2	3	10	26	38	9	0	94
1998	0	0	1	0	1	0	2	3	34	41	2	1	85
Total	3	0	1	3	1	2	5	13	60	79	11	1	179
Mean	15	0	0.5	1.5	0.5	1.0	2.5	6.5	30.0	39.5	0.5	0.5	89.5
Rate (%)	1.68	0.00	0.56	1.68	0.56	1.12	2.79	7.26	33.52	44.13	6.14	0.56	100

2) 자·치어 사육

(1) 성장

각각의 어미로부터 조기 출산한 자어를 동일한 크기의 FRP 원형수조(지름 3 m×0.8 m) 2개에 수조 1에는 300000마리, 수조 2에는 550000마리를 각각 수용한 후 45일 동안의 초기 성장결과는 Table 10과 같다. 출산 1일째인 수조 1(2월 17일)의 전장은 5.9 ± 0.3 mm, 수조 2(2월 19일) 5.8 ± 0.4 mm로 각 실험구간에도 출산 1일째부터 개체간에 성장차를 보였다. 이후 성장은 실험이 종료되는 출산 후 45일째에 수조 1이 전장 14.9 ± 1.4 mm, 수조 2는 전장 13.0 ± 0.9 mm로 출산 후 시일이 경과할수록 실험구간 성장차는 더욱 뚜렷해 먼저 출산한 쪽이 빠르게 성장하는 경향을 보였다($P < 0.05$) 그리고 45일 이후, 사육수온을 $16.0\sim 17.0^{\circ}\text{C}$ 까지 가온하여 사육한 결과에서도 개체간에 뚜렷한 성장차를 보였다.

Table 10. The growth in total length (mm) of black rockfish larvae after parturition

Tank number	After parturition			
	Day 1	Day 28	Day 35	Day 45
1	5.9 ± 0.3^a	9.1 ± 0.6^b	12.5 ± 0.8^c	14.9 ± 1.4^d
2	5.8 ± 0.4^a	9.1 ± 0.5^b	11.2 ± 0.7^c	13.0 ± 0.9^d
Mean	5.9 ± 0.4	9.1 ± 0.4	11.9 ± 0.8	14.0 ± 1.2

Values (mean±SE of two replicate group), in the same column, not sharing a common superscript letter are significantly different ($P < 0.05$).

한편 개체간에 성장차를 없애기 위해 5월에 선별을 통한 소형 group과 대형 group으로 나누어 8월까지 사육한 결과는 Fig. 31에 나타냈다. 사육일수가 경과함에 따라 사육 1개월 후인 6월에는 대형군과 소형군에 있어서 각각 8.1 ± 1.43 cm, 45 ± 22 cm로 성장하였으며, 3개월 후인 실험이 종료되는 8월에는 13.6 ± 2.0 cm, 90 ± 15 cm 유의한 성장차를 보였다($P < 0.05$).

(2) 생존율

사육 실험중 출산 15일째부터는 각 수조마다 성장에 따른 수용밀도가 높아져 수조 1, 2의 자어를 각각 2개 수조(1-1, 1-2와 2-1, 2-2)에 분산하여 사육한 결과 출산 후 사육 15, 13일까지 생존율은 수조 1: 82.6%, 수조 2: 63.3%로 수조 1이 2에 비해 뚜렷한 차이를 보였다($P < 0.05$). 그리고 출산 15일째 분조 후, 45일, 43일까지의 수조별 생존율을 보면 1-1: 72.2%, 1-2: 70.0%, 2-1: 81.6%, 2-2: 78.4%의 생존율을 보였다(Table 11). 따라서 전 사육기간을 통하여 출산 후 45, 43일까지의 통산 생존율은 수조 1이 58.7%, 수조 2가 50.8%로 수용 밀도가 낮은 수조 1이 수조 2에 비해 더 높은 생존율을 보였다($P < 0.05$).

(3) 선별효과

출산 후 22일째 전장 6.0~16 mm 되는 자어를 내경이 153 mm되는 siphon을 이용하여 낙차를 5, 10, 15, 20 cm씩 주어서 흡인되는 개체와 흡인되지 않은 개체로 선별하였다. 작업을 하는 동안 자어들의 군집정도와 손작업으로 하기 때문에 정밀하게 낙차를 줄 수 없는 다소의 문제점은 있었지만, 대체로 낙차를 크게 들수록 대형 개체가 흡인되었다(Table 12). 한편 별도의 수조에서 낙차별로 흡인하여 선별된 개체와 선별을 하지 않은 개체, 즉 실험구와 대조구로 나누어 35일간 사육한 생존율은 Fig. 32에서 보는 바와 같이 낙차 5 cm구와 대조구의 생존율은

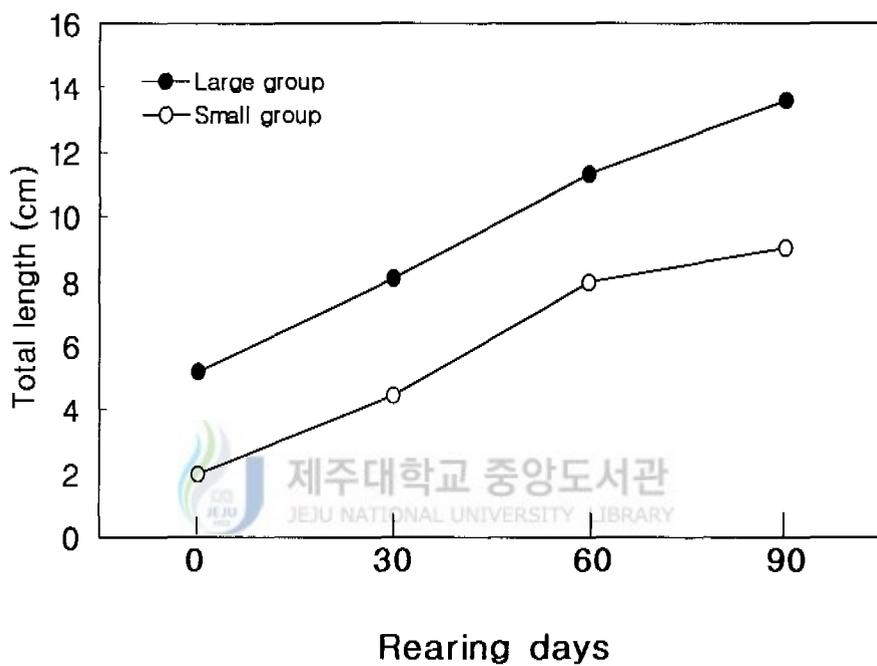


Fig. 31. The growth in total length (cm) of both large and small group of black rockfish after sorting.

Table 11. Survival rates of black rockfish larvae reared at three different experimental tanks

Date	Tank No.	1			2		
		DP	1-1	1-2	DP	2-1	2-2
Feb. 17	1		300000				
19	3		295658		1	550000	
21	6		294563		4	522693	
24	9		264501		7	438436	
27	12		256038		10	385963	
Mar. 3	15		247875		13	348311	
Survival rate			82.6 ^a			63.3 ^b	
Divided into two groups							
Mar 7	19	123937	123938		200000	148311	
12	24	98236	97682	17	174965	128945	
17	29	95465	90697	27	169640	122184	
22	34	94712	90083	32	169199	121106	
27	39	93998	88730	37	166766	117360	
Apr. 2	45	89426	86755	43	163179	116212	
Survival rate		72.2	70.0		81.6	78.4	
Total survival rate		58.7 ^a			50.8 ^b		

DP : Days after parturition.

Values (mean ± SE of two replicate group), in the same column, not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05)

Table 12. Relationship between total length (TL) and number of inhaled black rockfish larvae, day 22 after parturition, siphoned from different water levels using the vinyl hose (15.3 mm in inner diameter).

Total length (mm)	Water levels (cm)				Not inhaled	Control
	5.0	10.0	15.0	20.0		
6~8	182	129	154	92		118
8~10	13	25	36	37	5	62
10~12	1	2	12	6	39	28
12~14				3	36	16
14~16					25	9
Mean	7.2	7.4	7.6	7.8	12.5	10.9
Maximum	11.3	11.4	11.5	12.8	14.9	15.8
Minimum	6.9	6.5	6.9	6.8	9.5	7.1
Number of inhaled fish	1235	1412	1464	1310		233

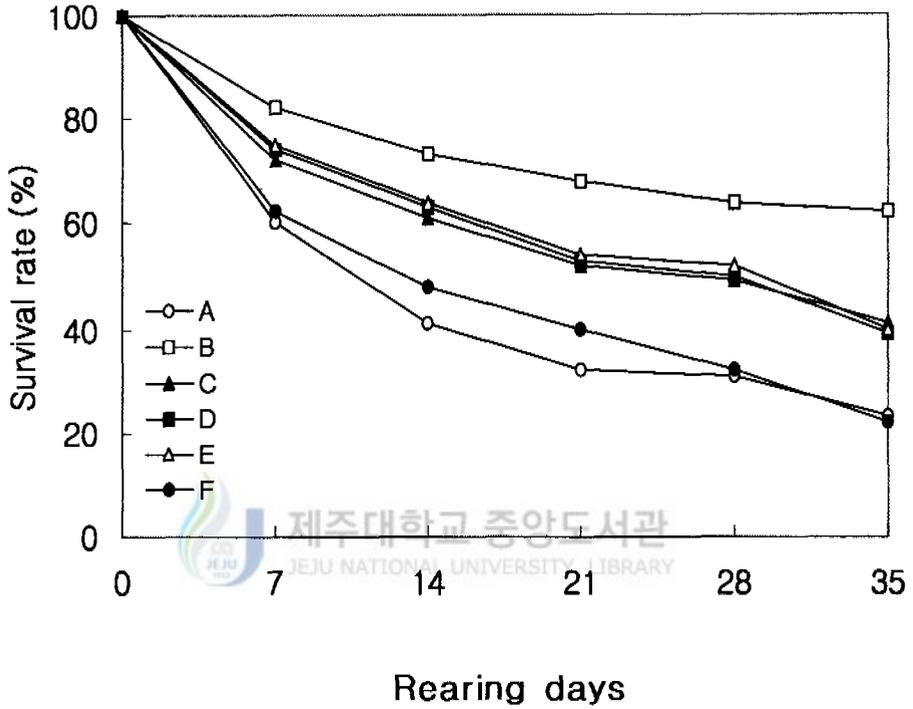


Fig. 32. Survival rates of inhaled black rockfish larvae from different water levels using the vinyl hose of 15.3 mm in inner diameter. A: water levels 5.0 cm, B: 10.0 cm, C: 15.0 cm, D: 20.0 cm, E: not inhaled, F: control.

23.5%와 22.5%로 가장 저조하게 나타났고, 나머지 실험구에서는 37.3~56.3%로서 전자에 비하여 현저하게 높은 생존율을 보여 선별 효과가 인정되었다($P < 0.05$).

치어의 성장과 함께 점차 유영력도 활발해 졌지만, 대·소간의 차이에 의한 공식현상도 점차 두드러지게 나타났다. 내경 25 mm의 siphon을 사용하여 출산 45일째의 치어를 선별한 후, 내경이 25 mm 되는 호스를 사용하여 siphon 하였을 때 낙차에 의한 흡인 개체의 평균 전장은 5 cm구와 비흡인구를 제외하고서는 모두 유사하였다. 그러나 대조구의 개체간 전장 차이는 타 선별구에 비하여 가장 크게 나타났다(Table 13). 한편 0.5톤 FRP 원형수조에서 2주간 비교 사육하였을 때의 생존율을 보면 낙차 5, 10, 15, 20 cm와 비흡인구에서 82.4%, 90.0%, 83.2%, 80.4%, 86.9%로 대부분의 실험구에서 80% 이상의 높은 생존율을 보였다. 그러나 선별하지 않은 대조구의 경우 이 기간 동안 39.4%의 낮은 생존율을 보였다(Fig. 33).

3) 자·치어 활력평가

인위제어(광주기·수온) 하에서 출산한 자·치어와 자연산 어미로부터 출산한 자어를 대상으로 여러 가지 환경요인에 노출시켜 그에 대한 내성을 조사 비교하였다.

(1) 기아시 생존활력지수

먹이가 없는 상태에서 출산된 자어의 생존일수는 수온과 개체에 따라 다소 차이가 있으나 자연 환경조건에서 사육한 어미로부터 출산된 개체는 15.0℃에서 9~10일, 17℃에서 9~10일, 19℃에서 6일, 21℃에서는 5일이였다. 그러나 환경조절(광주기·수온)로 사육된 조기 출산자어의 생존일수는 각각 8~12일, 7~10일, 6~9일, 5~7일로서 조기 출산구와 대조구 모두 수온이 높아질수록 생존기간이 짧았으며, 같은 실험구간에서도 출산 어미의 개체간에도 다소 차이가 크게 나타

Table 13 Relationship between total length (T.L.) and number of inhaled black rockfish larvae, day 45 after parturition, siphoned from different water levels using the vinyl hose of 25 mm in inner diameter

Total length (mm)	Water levels (cm)				Not inhaled	Control
	5.0	10.0	15.0	20.0		
13~15	46	29	34	32		42
15~17	33	23	46	27		53
17~19	57	46	62	24		39
19~21	28	38	37	19	12	27
21~23	8	16	23	14	25	20
23~25		2	3	12	42	11
25~27					18	4
Mean	17.1	17.9	17.8	17.9	23.4	
Maximum	22.3	24.8	24.7	23.8	26.8	17.8
Minimum	13.2	13.8	14.9	14.7	19.8	26.9
Number of inhaled fish	842	694	772	596	468	13.4

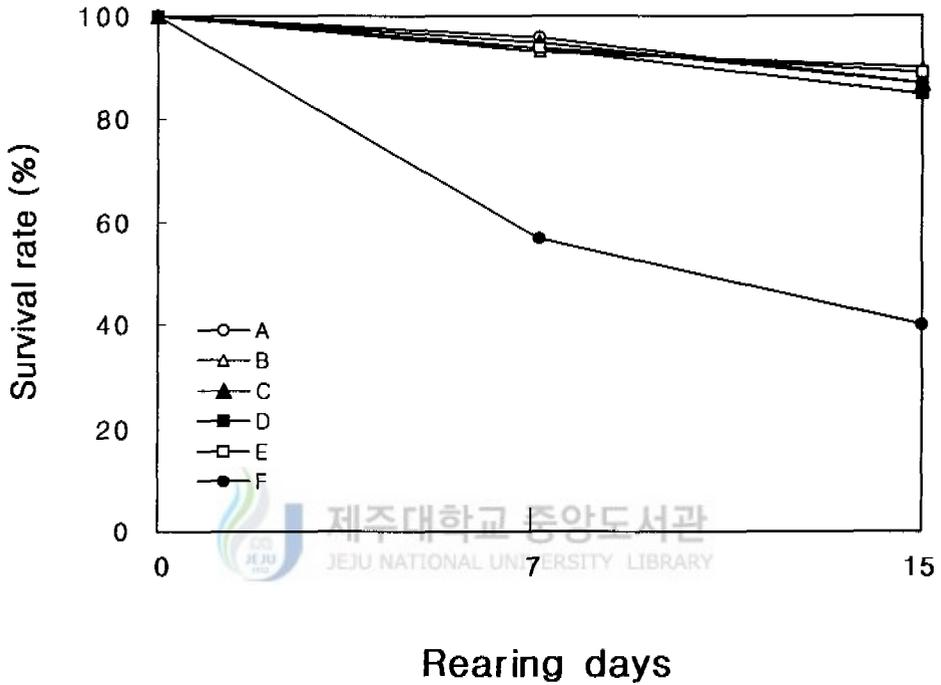


Fig. 33 Survival rates of inhaled black rockfish larvae (45 days after parturition) from different water levels using the vinyle hose of 25 mm in inner diameter. A: 5.0 cm, B: 10.0 cm, C: 15.0 cm, D: 20.0 cm, E not inhaled, F control.

났다(Table 14) 같은 수온조건일지라도 자연 환경조건에서 어획된 어미의 출산 개체는 생존일수가 조기 출산한 자어에 비해 다소 안정적이었다 그러나 조기 출산한 자어의 생존일수는 변화의 범위가 크게 나타났다.

두 실험구간의 평균 SAI값을 비교해보면 Table 15에 나타난 것처럼, 대조구인 자연 환경조건에서 사육한 어미의 출산 자어는 15 $^{\circ}$ C에서 13.96~20.22, 21 $^{\circ}$ C에서 3.06~4.08, 처리구인 조기 출산한 자어의 경우에는 각각 18.94~38.18, 0~4.82로 수온이 15 $^{\circ}$ C 이상으로 수온이 올라갈수록 SAI값이 낮아지는 경향을 보였으며($P < 0.05$), 출산 개체에 따라서도 상당한 차이를 보였다($P < 0.05$). 그리고 대조구가 처리구에 비해 다소 낮은 값을 보였으며, 값의 범위 또한 안정되게 나타났다.

(2) 공기노출 내성

공기노출 시간에 따른 자연산 어미로부터 출산된 자어와 조기출산 자어의 생존율을 보면 Table 16, 17과 같다. 조기 출산 자어의 공기노출에 대한 내성은 모든 실험구에서 10초를 경과하면 심한 감소를 보였으며, 출산일자에 따른 개체간의 차이는 인정되지만 인위적인 환경제어하에서의 어미와 자연산 어미로부터 출산된 자어 사이에서는 실험구간의 차이는 인정되지 않았다

Table 14. Comparison of survival days of the newly delivered black rockfish starved at different temperature

W.T. (°C)	Survival days	
	Treatment	Control
15.0	9	8
	10	10
	10	11
	9	12
	9	9
17.0	10	7
	10	10
	9	8
	10	7
	10	9
19.0	6	6
	6	9
	6	9
	6	7
	6	8
21.0	5	7
	5	5
	5	6
	5	6
	5	7

Table 15. Comparison of SAI in rockfish larvae delivered from the artificially and naturally maturated female black rockfish

Adults	Date	Water temperature (°C)			
		15	17	19	21
Treatment	1998. Jan. 31	21.38	13.02	8.40	4.02
		18.94	12.92	8.42	3.14
		20.70	13.50	12.10	4.82
	Feb. 17	37.86	22.96	11.78	0.58
		34.80	23.82	12.12	1.84
		38.18	11.64	10.74	2.72
	Feb. 19	27.38	17.20	7.34	4.36
		23.08	20.72	1.98	0.42
		24.10	19.28	6.72	0
		Mean	27.38 ^a	17.23 ^b	8.84 ^c
Control	1996. May 10	16.98	17.24	7.12	3.16
		20.22	12.74	7.40	3.12
		19.60	12.40	7.36	3.06
	May 12	15.66	15.28	6.48	4.08
		13.96	15.30	6.12	3.66
		18.44	16.16	7.54	4.02
		Mean	17.48 ^a	14.85 ^b	7.00 ^c

Values (mean ± SE of two replicate group), in the same column, not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05)

Table 16 Survival rates of newly delivered larvae from natural broodstock according to the various exposed time to air

Date of birth	Exposed time (sec)	Individuals	Survival	
			individuals (24h)	rate (%)
1998 May 4	10	5	5	100
	20	5	2	40
	40	5	2	40
	60	5	2	40
1998 May 17	10	5	4	80
	20	5	4	40
	40	5	4	40
	60	5	0	0

Table 17 Survival rates of newly delivered larvae from artificial broodstock according to the various exposed time to air

Date of birth	Exposed time (sec)	Individuals	Survival	
			individuals (24h)	rate (%)
1998. Feb 19	10	5	5	100
	20	5	4	80
	40	5	2	40
	60	5	1	20
Feb. 20	10	5	4	80
	20	5	2	40
	40	5	1	20
	60	5	1	20

IV. 고 찰

1. 어미관리 및 광주기·수온 조절

어류에 있어서 생식활동의 변화를 제어하는 요인으로는 내적 요인과 함께 광주기와 온도가 깊이 관여하고 있음이 담수어 등에서 비교적 많이 알려지고 있다(De Vlaming, 1975; Breton and Billard, 1977; Nishi, 1979; Lundquist, 1980). De Vlaming (1972a, 1972b)의 보고에 의하면 광주기가 연어류와 가시고기류의 번식주기에 현저한 조절역할을 하고 있으며, 온도는 송사리류의 생식리듬을 조절하는 데 아주 중요한 요인으로 작용함을 시사하고 있다 Bullough (1939)는 가을에 채집된 잉어과 어류, *Phoxinus*는 생식소의 최종 성숙 단계에서 장일주기를 필요로 한다고 밝혔으며, 또 다른 잉어과 어류 *Notemigonus crysoleucas*의 번식주기를 조절하는 데에는 광주기와 온도 둘다 중요 요인으로 작용한다고 보고했다(De Vlaming, 1975) 그리고 *Notemigonus crysoleucas*는 여러가지 광주기·온도 처리가 계절에 따라 다양하게 나타나며, 산란 준비기간 동안 장일·고온처리는 산란직전 상태까지 난소의 발달을 자극하고 있다고 지적했다 한편 광주기와 온도가 어류의 성숙과 산란에 미치는 영향에 대하여 참돔, *Pagrus major*의 경우, 최저 수온을 12℃로 설정하여 사육한 처리구와 19℃의 자연해수를 직접 사용한 처리구 사이에 산란기의 차이는 없었다고 한 바 있으나(伏見 等, 1972), 辻ヶ堂 等(1973)은 동계 가온사육이 산란기간을 1.5개월 앞당길 수 있었다고 하였으며, 특히 월동기간 중 15℃ 이상일 때는 산란하지 않는다고 보고하였다.

넙치에 대해서 伊島 等(1986)은 광주기가 성숙과 산란에 관계하지만 산란에

있어서는 수온이 더 깊이 관계하므로 장일처리와 함께 수온을 산란 적수온인 14~18℃로 유지하는 것이 효과적이라고 하였다. 그물코쥐취, *Rudarius ercodes*의 경우 Lee et al. (1984)은 장일 광주기(13L 이상)에서 생식소는 활성화되어 산란기에 이르게 되며, 이때 수온상승은 보상적인 촉진역활을 한다고 보고하였다. 이 연구에서 수온과 광주기를 병행하여 인위적으로 조절한 결과, 자연에서 4~6월에 성숙, 출산하던 것을 6개월 이상 앞당긴 2월 중순에 자어가 출산됨으로써, 수온과 광주기가 성숙과 출산에 밀접하게 관계하고 있음을 알 수 있었다. 한편 유럽산 농어의 경우에도 광주기가 9L : 15D에서 14L : 10D로 조절했을 때 산란이 이루어졌다고 보고한 바 있다(Station Experiment d' Aquaculture de Palavas, 1984) 따라서 조피볼락의 교미나 출산에 미치는 환경 요인은 수온이 주로 관여하고, 광주기는 보조적인 영향을 미치는 것으로 생각된다.

2. 생식세포의 발달과 혈청 성 스테로이드 호르몬의 월 변화



조피볼락의 배우자 형성과 출산에 따른 스테로이드 호르몬의 활성변화 또한 뚜렷이 나타났다. 암컷의 경우 progesterone, 17 α -OHP, T 그리고 E₂의 변화를 방사면역측정법으로 조사한 결과, T와 E₂가 뚜렷하게 반응하였다. T의 경우 GSI가 서서히 증가하기 시작하는 10월부터 높은 농도를 보이기 시작하여 11월에 최고치를 나타내다가 GSI가 가장 높은 2월에는 가장 낮은 값을 보이고 있다 E₂도 T와 유사한 경향을 보였다. 난소내 주변인기 난모세포 단계에서 난경 400~430 μ m에 이르는 난황구기 난모세포로 발달할 때까지 E₂와 T의 활성이 높게 나타났다. 이러한 활성변화는 E₂와 T가 난황물질의 합성에 깊은 관계를 나타내고 있다(Kime and Grove, 1986; Hara et al, 1986). 그러나 체내 임신기간 동안에는 E₂와 T의 활성이 매우 낮게 나타나고 있는데, 이와 같은 현상은

다른 태생 경골어류인 *Cymatogaster aggregata*, *Hysteroicarpus traski*의 보고와 일치하고 있다(De Vlaming et al., 1983, Nagahama et al., 1991). 이러한 결과에서 볼 때 E_2 는 난모세포의 난황물질 형성에는 깊은 관계가 있으나, 체내 임신과는 관련이 적은 것으로 생각된다. Ishii (1961, 1963)는 *Gambusia affinis*의 출산유도 실험에서 후기 출산기 동안 사육수내에 estradiol benzoate를 처리했을 때는 배의 폐사가 증가했다고 보고했다. 그리고 Korsgaard and Petersen (1979)은 태생 *Zoarcetes*에 대하여 progesterone만을 단독으로 처리했을 경우 후기 임신기 동안 출산은 유도되지 않았다고 보고했다. 이들 연구자들의 연구 결과에서도 E_2 를 혼합 처리했을 때 출산을 자극하였지만, E_2 만을 단독으로 처리했을 경우 후기 임신기 동안 출산은 유도되지 않았다고 보고했다. 이들 연구자들의 연구 결과에서도 E_2 가 적어도 경골어의 임신에 깊은 역할을 하지 않는 것으로 나타남으로써, 이 실험 결과와 거의 일치하고 있는 것으로 생각된다.

정자형성에 따른 스테로이드 호르몬의 활성변화를 알아보기 위해 T의 혈중 농도를 측정하였다. T의 활성은 GSI가 증가하기 시작하는 8월에 3.119 ng/ml 이었고, 그후 낮아지다가 GSI가 가장 높은 값을 가지는 10월에 4.082 ng/ml로 가장 높았다. 경골어류에서 정자형성 초기에 T, 중기에는 T, 11-Kestosterone, 그리고 후기에는 $17\alpha\text{-}20\beta\text{-OHP}$ 가 중요한 역할을 담당하고 있다(會田, 1996).

이 연구의 처리구에서 8월의 정소내에는 제1차정모세포, 제2차정모세포, 정세포 그리고 정자들이 출현하여 활발한 정자형성의 초기에서 중기로 이행하는 단계로 T 활성이 높게 나타났고, 10월에 T가 가장 높은 농도를 보이는 것은 교미 행위에 수반되는 것으로 생각된다. 어류에 있어서 산란 행동시에 수컷의 경우 GTH의 활성과 동시에 T와 $17\alpha\text{-}20\beta\text{-OHP}$ 는 큰 변화를 일으킨다고 보고하는 것과 유사한 경향을 보이고 있다.

3. 번식주기

불락류에 대한 수컷 성어의 생식기 발달에 따른 비노생식돌기의 외부형태나 정소 변화의 조직학적 관찰은 연안성 5종에 대해서 비교 검토한 佐々木(1975)에 의해 자세히 보고되어 있고, 또한 五十嵐(1968), 中村(1985) 등에 의해 단편적으로 보고되었다. 조피불락 수컷 성어의 비노생식돌기는 주년을 통하여 돌출하며, 이 생식돌기에서 보이는 반점 등에 대하여 佐々木(1975)와 Kusakari(1995)의 보고가 있다. 이 생식돌기는 수컷의 교미기로서, 체내수정을 위해 암컷의 체내로 정자를 주입하는 역할을 한다. 이 생식돌기가 비성숙시기에 비해 다소 비대하고 회백색을 띠지만, 정자 방출기에는 앞쪽 끝 부위가 충혈된 것 처럼 검붉은색으로 변하며, 이때 정액은 유백색의 점성이 높은 덩어리로 배출된다(Kusakari, 1995). 이러한 생식돌기의 비대와 색채의 변화 등은 조피불락의 교미기로서 이차성징을 나타낸다. 이 연구에서 조피불락 수컷의 정소는 한쌍의 가늘고 긴 모습으로 부레 밑의 체강 후부에 위치하고 있다. 정소의 횡단면에서 앞부분은 타원형, 중앙부는 거의 삼각형을 이룬다. 그리고 정소내에는 종으로 배열된 수많은 정소소관으로 이루어져 있고, 이들 정소소관 들은 정소 후부에 돌출된 두꺼운 수정관에 연결되어 있으며, 좌우에 있는 수정관은 하나로 합쳐지고, 항문의 후방에 돌출된 비노생식돌기(교접기)속에 들어가 그 선단의 생식공에 개구되어 있다. 이 생식돌기는 수컷의 교접기로서 체내수정을 하기 위해 암컷의 체내로 정자를 수송하는 역할을 담당하는 것으로 나타나 앞에서의 보고와 잘 일치하였다.

솜뱅이나 불락의 생식돌기는 교미시기에는 뚜렷이 신장하고 비대하지만, 같은 불락류인 탁자불락에 있어서는 그러한 변화가 보이지 않는다고 보고하였다(水江, 1958). 탁자불락 수컷의 교미기를 5종의 불락류와 비교하여 외부형태, 크기,

반문 및 내부조직에 차이가 보이는 것을 관찰한 보고에서는 근연종에 있어서도 수컷의 교미기는 각각 고유의 형질을 가지며, 이 교미 기관의 형태는 계통발생과는 관계가 없고, 각각 별개로 획득된 형질인 것으로 보고하였다(五十嵐, 1968).

이 연구에서 조피볼락은 15~16 cm의 미성숙어에 있어서도 수컷의 생식돌기에 의한 암·수 판별이 확실하여 Kusakari (1995)의 보고와 일치하였으며, 이것은 종에 따라 다소 차이가 있는 것으로 생각되었다.

조피볼락의 난소는 좌우 한쌍의 낭상기관으로 각각 끝 부분에 융합되어 단일의 생식수관으로 연결되어 있다. 미숙한 난소는 방추형, 성숙함에 따라 난원형, 그리고 임신중의 난소는 팽창되어 체강의 대부분을 차지한다. 외부생식기는 항문 후방과 비뇨생식기 사이에 위치하는데, 개구 부위는 미성어나 미성숙시기에 관찰하기가 어려우나 난소의 발달에 따라 복부 전체가 팽만하고 특히 항문, 생식공 그리고 비뇨돌기가 팽윤한다. 그리고 조피볼락 암컷 성어의 외부생식기는 항문과 비뇨돌기 사이에 있으며, 이것은 Moser (1967)의 *S. paucispinis*에 관해서 관찰한 결과와 동일하였다. 외부 생식기의 개구 부위는 미성숙어나 임신기 이외의 성어에서는 뚜렷하게 보이지 않는다. 그러나 임신어의 생식공 주변 부위에 대한 형태변화는 지금까지 조피볼락을 제외한 볼락류에서는 보고된 예가 없다(草刈 等, 1979). 이 연구에서도 임신기의 성어는 난소의 발달에 의해 복부 전체가 팽만하고, 특히 항문, 생식공 및 비뇨돌기가 팽창하였다. 또한 배발생 단계가 진행함에 따라 그 정도가 증가하며, 임신후기(출산직전)에는 생식공 주변부위의 표피 주위에 은빛을 띤 자어의 안포가 보이는 형태적인 변화가 관찰되었다. 이러한 형태변화는 임신초기에서는 뚜렷하지는 않지만, 임신중기에 출현하여, 임신후기에는 더욱 뚜렷하였다.

중·양식 대상어의 생식주기를 파악하는 것은 그 종의 재생산 기구를 추정

하여 증·양식 기술을 개발할 때 가장 적절하게 이용된다. 생식주기를 파악하는 방법의 하나로 주년을 통하여 생식소의 중량 변화를 체중 당 생식소 중량비의 변화로서 구하는 생식소중량지수(GSI)가 일반적으로 이용되고 있다

일반적으로 난생어는 난모세포의 발달에 따라 GSI가 증가하고, 난모세포가 최종 성숙을 마치고 배란된 시점에서 피크에 달한다. 그러나 태생어는 난모세포의 발달에 따라 GSI는 증가하지만, 최종 성숙 후 임신기에 피크에 달하는 것이 일반적이다. 한편, 조피볼락의 GSI는 난황형성 후기부터 상승을 시작하고 최종 성숙 및 배란이 일어나는 것으로 생각되는 12월까지 완만하게 상승을 지속하였다. 그후 임신기에 들면 GSI는 급격히 증가하고 임신후기에 최고치에 달했다. 이와 같이 조피볼락의 GSI는 태생어에서 볼 수 있는 특징적인 변화를 보였다.

조피볼락의 난 및 정자형성 과정에 대해서는 이전의 연구에서는 자세한 연구결과가 보이지 않았지만, 종묘생산의 입장에서 생식시기를 파악한 中村(1985)의 연구에 의하면, 난소조직은 주년을 통해 염색인기와 주변인기의 난모세포가 보이고, 특히 GSI가 서서히 증가하는 10월부터 난황포기의 난모세포가 출현하며, 12~5월 사이에는 난황구기 난모세포가 각각 출현한다. 또한 정자형성과정은 10월~11월이 정자형성기, 12~1월이 정자방출기(교미기), 2~6월이 휴지기, 7~9월이 정자형성 준비기에 해당한다. 한편 Kusakari (1995)는 2월에 채집한 난황구기의 난소내에서 정자의 존재를 확인했으며, 이러한 관찰 결과에서 조피볼락의 난황형성 기간은 같은 속의 탁자볼락(Takahashi et al., 1991)과 동일한 약 6개월 사이에, 정자형성 기간은 6~7개월로 누루시볼락, *S. vulpes*(佐々木, 1975)과 거의 동일하게 보인다고 하였다. 교미시기 및 기간에 대한 관찰은 수컷의 GSI가 최대가 되는 11월 하순~12월 중순에 채집된 수컷 성어의 교미돌기가 최대를 비후하여 선단부위를 가볍게 누르면 점성이 높은 유백색의 정액이 덩어리로 방출하기 때문에 中村(1985)의 조직학적 관찰결과와 거의 동일한 것을 확인

할 수 있었다 한편 이 연구에서는 조피볼락 어미 생식소의 계절적 변화를 조사하기 위하여 대조구와 처리구(광주기·수온 조절)로 나누어 사육실험을 한 결과 대조구에 있어서 조피볼락 어미 생식소의 계절적 변화를 보면, 정소는 수온이 내려가는 9월부터 GSI값이 상승하기 시작하여 11월에 최고값을 나타내 1월까지 비교적 높은 값을 유지하다가 2월 이후 급속히 감소하였다. 그리고 교미는 주로 10월말에서 11월초까지 이루어졌다. 난소의 GSI는 2월부터 상승하기 시작하여 4월에 최고값을 보이고 5월에 급격히 감소하였다 또한 출산개체는 4월중순부터 5월초까지 관찰되었고, 한 개체의 출산 횟수는 1회였다. 반면, 1996년 8월부터 처리구는 광주기와 수온을 자연 환경조건을 바탕으로 교미시기의 조건(광주기·수온)을 2개월간 앞당겨 처리한 결과 수컷의 GSI는 10월에 최고값을 보였고, 암컷의 GSI는 2월에 최고값을 보였으며, 출산개체는 2월부터 3월까지 관찰되었다. 그리고 1997년에는 교미시기에 환경조건을 9월 중순으로 처리한 결과, 1월 중순부터 조기 출산이 일어났다. 대조구에서 교미 후 출산까지 138일 걸린 반면, 광주기와 수온을 조절한 처리구에서는 118~119일이 걸렸다.

일본 홋카이도 지역의 자연 환경조건에서 조피볼락 암컷의 GSI 변화는 5월 중순부터 상승하기 시작하여 6월 중순에 최고값을 나타내고, 7월 상순에 급감하였다. 홋카이도 지역에서 조피볼락의 주 출산시기는 6월 상·중순경이다(Kusakari, 1995).

이상의 결과들을 종합해보면 자연환경 조건이든, 인위적 환경조건이든 암·수의 성숙시기에 있어서 다소 차이가 있으며, 수컷이 암컷에 비해 빨리 성숙하며, 이는 태생 경골어에서 보이는 공통적인 현상이라 할 수 있다. 그리고 성숙정자는 성숙하는 난소 내에 교미에 의해 전달되며, 전달된 정자는 난모세포가 최종 성숙할 때까지 저장된다. 이러한 암·수간에 성숙주기의 패턴은 정도의 차이는 있지만, 남쪽지방에 분포하는 종 보다 북쪽지방에 분포하는 종에서 더 오랫동안

동안 난소내에 정자를 저장하고 있는 것으로 생각된다.

경골어류 성어의 난소는 난소에 부수되는 생식수관의 구조와 관련하여 나상형(gymnovarian condition)과 낭상형(cystovarian condition)으로 나뉘어지며, 낭상형은 다시 난소의 조직학적 특징에 따라 낭상형 I 과 II 두가지 형으로 나뉘어 진다(高野, 1987) 조피볼락의 난소는 주머니 모양으로 체강에 독립적으로 매달려 있고, 난소피막에는 기본적인 평활근이 발달되어 있어 낭상형 II에 해당되며, 특히 조피볼락은 난소강이 난소 실질부의 주변 부위에 위치하며, 그 벽의 내면을 덮는 상피세포는 섬모가 없는 형태로서, 이러한 형태의 난소를 가지는 어류로는 청어, *Clupea pallasii*, Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, 날망둑 속의 *Chaenogobius isaza*, 두만가시고기, *Pungitius tymensis* 등이 이에 속한다(高野, 1987). 수컷의 정소는 1쌍으로 되어있고, 내부는 곡정세관의 형태를 나타내는데 이러한 구조는 양서류·파충류와 고등 척추동물의 정소 및 누루시볼락, *S. vulpes* (Sasaki and Igarashi, 1974), 태생어인 *Cymatogaster aggregata*, (Wiebe, 1968) 등에서도 볼 수 있고, 난소에 비해 1/10~1/20 정도로 아주 작다(Yokokawa et al., 1992).

경골어류 중 일부는 태생과 난태생을 placental and aplacental live-bearers 로써 구분하지만, 이것은 적당하지 않다 그 이유는 모체와 배사이의 영양분 수송은 extra-embryonic membrane의 부재와 배와 모체사이의 연결 고리가 없어도 이들 사이에서 영양분 수송이 가능하기 때문이다(Blackburn, 1982).

조피볼락은 aplacental live-bearers 형태의 태생이며, 이러한 형태의 태생 경골어류는 양볼락과를 비롯하여 Anablepidae, Aphyonidae, Bythitidae, Clinidae, Comephoridae, Goodeidae, Hemirhamphidae, Labrisomidae, Parabrotulidae, Poeciliidae, Zoarcidae에서 보고되고 있다(Wourms, 1981). 또한 태생어는 체내에서 수정시 수정장소에 따라 여포강내 수정형(intrafollicular fertilization type)과

난소강내 수정형(intraluminal fertilization type) 두가지로 구분되며, 임신형태는 자어의 출산시까지 배발생 및 성장장소에 따라 여포강내 임신형(intrafollicular gestation type)과 난소강내 임신형(intraluminal gestation type)으로 나누어진다 (Wourms et al., 1988). 여포강내 수정형은 *Neotoca bilineata* (Mendoza, 1943), *Clinus aggregata* (Wiebe, 1968) 그리고 *Clinus supercilliosus* (Veith, 1980)와 *Heterandria formosa* (Wourms et al., 1988)가 있으며, 난소강내 수정형은 난태생 어류인 볼락(Lee and Kim, 1992)과 황점볼락(Chang et al., 1995)등에서 보고되고 있다. 여포강내 임신형은 *Clinus supercilliosus* (Veith, 1980)와 *Heterandria formosa* (Wourms et al., 1988)에서 보고되고 있으며, 난소강내 임신형은 *Neotoca bilineata* (Mendoza, 1940) *Clinus aggregata* (Wiebe, 1968), 볼락(Lee and Kim, 1992), 황점볼락(Chang et al., 1995) 등에서 보고되고 있다. 따라서 이 연구에서 조피볼락의 수정형태는 난소강내 수정형이며, 임신형태는 난소강내 임신형에 속하였다.

한편 조피볼락에 있어 교미시기의 추정은 수컷의 경우에는 GSI, 정소조직상이외에도 교미기의 비대, 색체에 의해서도 교미시기를 파악할 수 있었다. 또한 교미시기에 이차성징의 일종이라고 할 수 있는 교미기의 비대, 색체의 변화 등 이차성징 지수를 정소조직상과 연관하여 본 결과, 완숙정자를 보유하고 있는 개체에서는 GSI 값이 다른 시기에 비해 뚜렷한 차이를 보임으로써, 이차성징지수로서 교미시기를 알 수 있는 또 하나의 형질로 사용할 수 있었다.

캘리포니아 연안에 서식하는 *Sebastes paucispinus*의 암컷은 성숙 혹은 거의 성숙된 난소를 가졌을 때 교미가 일어나며, *S. marinus*의 경우에는 교미 후 활발한 난황형성이 이루어지고, 이때 정자는 수정전까지 약 6개월동안 난소내에 저장된다고 보고하였다(Sorokin, 1961). 이 연구에서 조피볼락의 난소내에서 정자의 출현시기는 10월말에서 11월초에 가장 진전된 난모세포인 3차난황기에 해당하는

난황구와 유구기 난모세포에 도달되었을 때 정자는 난소박판에 인접한 난소강에 흩어진 것이 처음 관찰 되었으며, 이 상태는 1월초에서 중순 수정이 일어날 때까지 유지되었다 이러한 현상은 동일종의 수컷에서 기술된 정자의 변태기와 일치하며, 이는 탁자불락의 실험 예와 거의 일치했다(Igarashi, 1968). 조피불락 암컷의 난소강에서 정자 출현시기와 수정란의 출현시기 사이에는 약 1개월 정도의 잠복기를 거친후 수정에 참여하는 것으로 생각된다. 이처럼 잠복기를 가지는 경우는 태생 경골어류 가운데 *Neotoca bilineata* (Mendoza, 1943)와 *C. aggregata* (Wiebe, 1968) 그리고 난태생 어류인 불락(Lee and Kim, 1992)과 황점불락(Chang et al., 1995) 및 망상어, *Ditrema temmincki* (Lee et al., 1996) 등에서 보고되고 있다. 이처럼 잠복기를 가지는 어류 가운데 *Neotoca bilineata*의 경우에는 난소내로 침입한 정자가 난발달에 관여하는 것으로 보고되고 있다.

정자는 수정전 자연에서 6개월 이상 어미의 난소에 저장되어 있는 것으로 생각되며, 수정 후 임신한 암컷은 약 1개월의 임신기를 통하여 출산하는 것으로 생각된다. 조피불락은 연 1회의 생식시기를 가지는 것이 지금까지의 관찰 결과와 거의 동일한 결과를 얻었다. 따라서 양불락과 어류에서 교미의 생리적 기작과 정자 저장은 아주 흥미 있는 일이다.

불락속 어류의 임신기간에 대하여 *S. rubrivinctus*는 1개월(Eigenmann, 1982)로 보고하였으며, 이는 일반적인 난생어의 배 발생기간에 비하여 길다 한편, 조피불락의 임신기간은 수온에 따라 다르지만, Boehlert and Yamada (1991)는 조피불락의 임신기간을 수정에서 출산까지로 보고 이 기간을 적분한 결과 10.6℃에서 51.5일이었다고 보고한 데 비하여, Yamada and Kusakari (1991)는 수정에서 출산까지의 시간을 기준으로 계산 한 결과, 사육수온이 9.8℃에서 48일(10.6℃에서 43.9일)로 이는 Boehlert and Yamada (1991)에 의해 추정된 일수보다 약간 짧았다. 그러나 Yamada and Kusakari (1991)는 실제로 동일 개체에서

수정에서 출산까지 3마리의 임신기간을 관찰한 결과 거의 근접한 결과를 얻었고, Boehlert and Yoklavich (1983)는 발생단계의 기간을 적분한 결과, *S. melanops*의 임신기간은 $10.0 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 37일간이었다고 보고하였다. 한편 이 연구에서는 수온 $12 \sim 14^\circ\text{C}$ 에서 약 38일이 소요되어 앞의 연구자들보다 다소 빠르게 나타났는데 이는 Yamada and Kusakari (1991)가 지적한 바 있는 발생속도에 가장 큰 영향을 미치는 사육수온이 높았던 것에 기인된 것으로 생각된다.

4. 출산 조절 및 자·치어 사육

어류의 생식행동과 습성에 대한 연구는 난생어류에서 비교적 많이 보고되어 있다(古賀 等, 1971; 岡田 等, 1975; 的場·道津, 1977; 鈴木 等, 1979, 1981a, 1981b, 1983). 새끼로 출산하는 볼락류에 대해서는 볼락에 대한 구애행동, 교미행동이 보고되어 있고(Shinomiya and Ezaki, 1991), 조피볼락은 출산시기가 가까워지면 생식공 부위를 중심으로 “ω” 형태의 체형을 가지며, 생식공을 포함하여 그 후방 쪽으로 비뇨돌기가 현저하게 솟아오른다. 또한 그 주변부위가 암청색을 띠며, 이때 출산직전 어미의 생식공은 최대로 팽창되고, 그 속에는 은빛을 띤 자어의 안포가 많이 관찰되며, 이 시기가 되면 대부분의 어미들은 평소 보다 호흡수가 빨라지는 현상을 비교적 상세하게 보고 한 바 있다(Kusakari, 1995). 그러나 이와 같은 관찰에 의한 출산시기의 예측은 어미에 스트레스를 가져다 주어 비정상적인 출산이 일어나거나, 폐사하는 경우가 있어 바람직한 방법이라고 생각되지 않는다 따라서 이 연구에서도 대부분의 산란 행동에 대한 관찰 소견이 Kusakari (1995)의 결과와 잘 일치되었으며, 이 호흡수를 토대로 출산시기를 예측하는 것이 보다 효과적인 것으로 생각되었다. 그러나 Kusakari (1995)는 동 연구에서 출산일이 가까워지면 한 장소에 가만히 정지하고 호흡운동이 활발해

진다고만 언급한 바 있다. 이 연구에서도 4~5년생 조피볼락은 출산일이 가까워질 때 임신어 체강의 2/3 이상을 난소가 차지하고 있기 때문에 호흡이 매우 어려운 상태였다. 여기에 가세하여 체내에 있는 자어의 산소 요구량이 증가하기 때문에 호흡수는 빨라질 수밖에 없는 생리적 현상으로 체중 2.2 kg 이상의 고령어에서는 정확하게 1분당 호흡수가 47~48회 정도에서 출산이 일어나는 것을 관찰할 수 있었다. 따라서 간단하게 출산 어미의 아가미 호흡수를 측정하여 출산일을 정확히 예측할 수 있었기 때문에 출산시 민감한 조피볼락 어미에게 충격이나 스트레스를 주지 않고도 산업현장에서 손쉽게 이용할 수 있는 방법이 될 수 있다고 생각되었다.

어류의 산란시각에 대해서는 많은 어종의 관찰 자료에서 일몰 후부터 야간에 산란하는 야간형, 특히 이른 아침에 산란하는 주간형, 조석에 관련하여 산란하는 조석형 또한 특정시각을 가리지 않는 부정기형 등의 4형으로 구분하고 있다(伊東, 1956) 조피볼락의 경우 Kusakari (1995)는 홋카이도산 조피볼락에서 야간형에 속한다고 하였고, Park et al. (1993)은 우리 나라 남해안산의 경우 오전 11시와 오후 2시에 죽은 자어를 비정상적으로 분만한 것을 제외하면 대부분이 밤 11시에서 새벽 5시 사이라고 하였다. 이 연구에서 인위적인 환경제어 하에서 길러진 조피볼락에 있어서도 대부분의 출산은 해가 진 후 밤 8시 이후에서 새벽녘 사이에 일어났으며, 그 중에서도 밤 10시에서 새벽 4시 사이에 91.06%의 어미가 집중 출산하였다. 예외적으로 낮 시간에 출산하는 개체도 있었지만 대부분이 비정상적인 출산으로서 죽은 자어를 배출하거나 일부만 정상개체를 출산하고 부정형의 사란과 함께 수조 위에 유막을 형성하는 비정상적인 상태로 된 경우가 많았던 점으로 미루어 보아 이 종의 출산생태는 야간형으로 앞에서의 연구자들의 결과와 잘 일치되고 있었다.

조피볼락 출산시기의 수온에 대하여 Park et al. (1993)은 3년간 인위적으로

관리한 어미의 수조내에서 출산기록을 통하여 출산이 일어난 수온범위는 12.8~18.1℃이였지만, 13~14℃에서 가장 많은 출산이 일어났다고 보고하였다. Kusakari (1995)는 일본 鹿部町 연안에서 어획된 임신어의 출현은 수온 9~14℃ 범위의 5월 하순에서 7월 상순 사이이였지만, 출산성기는 수온 11℃의 6월 상순이였다고 하였다. 그러나 조피볼락의 출산시기는 같은 해일지라도 자연산 어류에서는 어획장소에 따라, 양성어에 있어서도 임신어의 경력에 따라 차이가 보인다고 하며, 자연출산은 통상 수온 10~16℃의 넓은 수온 범위였다고 하였다. 이 연구에서도 조기 종묘생산을 시도하고 있는 민간인 배양장을 통하여 수역에 따른 양식 조피볼락의 출산시기를 조사한 결과를 보면 통영근해에서 가두리에 양성한 어미를 12월 하순부터 3월 사이에 구입하여 자연수온보다 빨리 가온한 경우가 비교적 빠른 3월 초순부터 4월 중순사이에 출산하는 것으로 나타났다. 그 다음 돌산, 남면 등지의 여수 근해 수역에서 양성한 어미였으며, 가장 늦게 성숙한 것은 흑산도 근해 수역에서 양성된 어미로서 대부분이 임신어를 양성한 수역의 겨울철 월동수온과 깊은 관계를 가지고 있었다. 이제까지 일본에서 어미를 양성하여 조기출산한 예를 보면 2월경에 자연수온 보다 5~10℃ 정도를 높혀서 사육하여 출산시기를 약 1~1.5개월 앞당길 수 있는 연구에 불과하였다(草刈·森, 1982). 이 연구에서 사육환경 제어를 통하여 양성한 어미의 경우 최저수온을 10℃정도로 유지한 후 약 1주일마다 1℃ 정도를 상승시킨 것에서는 14℃까지 상승하였을 때 대부분이 정상 분만을 하였다. 이 방법을 이용한 배양장 A에서는 이미 전년도에 같은 방법으로 조기출산을 시도하여 4월 1일부터 첫 출산을 시작하여 4월중에 출산을 완료한 경험을 가지고 전년도에 사용하였던 어미를 그대로 사육하여 1998년도에는 전년에 비하여 약 26일이 빠른 3월 6일부터 첫 출산을 시킬 수 있었다. 또한 1998년에 새로 어미를 구하여 시도한 배양장 B의 경우에는 수온 16℃ 내외의 지하해수를 가을부터 이용하였지만, 가온사육

시기가 다소 늦어 3월19일부터 첫 출산을 보게 되었다. 그러나 이 연구에서 1월 4일 13.0℃에서 유난히 복부가 팽만하고 생식소내에 배체의 안구형성이 보이는 발달단계를 가진 조피볼락 어미 10마리를 별도로 수온 14.9℃로 조정된 출산조로 옮긴 후 수온을 15.5℃로 바로 상승시킨 후, 6일째에 3마리가 난막 내의 배체가 형태를 알 수 없는 알 상태로 배출되었으며, 7일째에도 3마리가 같은 상태로 비정상적인 분만이 일어났다 물론 이때의 어미의 행동은 정상적인 분만 전에 흔히 볼 수 있는 입을 크게 벌리는 행동이나 호흡을 가쁘게 하는 행동을 취하지 않았고 생식공 주변의 돌출현상도 심하지 않았다. 이 상태에서 남은 4마리를 다시 사육수의 수온을 13.2℃로 환원시키고, 5일 동안 수온을 그대로 유지시킨 후 하루에 0.2℃ 정도의 수온을 상승시킨 결과, 12일이 경과한 1월 23일에 수온 14.3℃에서 2마리가 정상적인 출산이 일어났고, 1월 31일 수온 15.1℃에서 2마리 모두가 정상적으로 출산하였다 이와 비슷한 일은 종묘배양업체에서도 2월 하순에서 3월 초순 사이에 가두리에서 양성중인 상당히 배가 부른 상태의 어미를 구입하여 현장 사육수온을 무시하고 16~17℃ 내외의 지하해수에 수용하였을 때 불러오던 배가 서서히 꺼져 가는 경험담을 종종 들을 수 있었던 것도 같은 맥락에서 생각할 수가 있다 물론 양성장애 비싼 값을 받기 위하여 준비하는 경우 교미시기에 성비가 맞지 않았던지 아예 교미도 하기 전에 빨리 성장한 대형어인 암컷만을 선별 사육 시킨데서 교미를 하지 못한 것도 원인이 될 수도 있다고 생각된다. 따라서 앞으로 이에 대해서는 좀더 구체적인 연구가 수행되어야 할 것으로 생각되지만, 수정 후 배체 형성 시기에 급작스러운 스트레스나 일시에 사육수온을 높여 가온 사육하는 것은 자어의 정상 출산에 장애를 주었으나, 분만 약 일주일 전후의 자연산 어미는 이러한 현상을 볼 수 없었다. 이는 배체의 발생단계에 따라 특히 초기 배체 형성단계에서는 외부자극이나 수온의 급작스러운 변화에 적응할 수 있는 내성에 차이가 있는 것으로 생각되기도 한다.

조기출산을 위한 환경제어는 단순히 수정이 완료된 시기에 수온만을 상승시키는 경우에 비해서는 분만율이나 출산 후 자어의 활력면에서 우수함을 알 수 있었다

사육중에 있는 자·치어의 건강정도를 파악하는 일은 건강한 종묘를 생산하는 데 대단히 중요하다. 그러나 이를 위하여 많은 연구자들이 여러 가지 방법과 어종을 대상으로 실시하고 있지만, 아직까지 활력평가를 위한 확실한 지표를 정리할 수 있는 단계라고는 할 수 없다(北島, 1993). 그러나 일부 연구자들의 보고에 의하면, 특히 대부분의 난생 경골어류는 부화직후부터 먹이를 공급하지 않아도 부화 6일까지는 성장이 어느 정도까지는 이루어졌다. 그러나 먹이를 공급했던 처리구와 먹이를 공급하지 않은 대조구를 비교한 결과 시간이 경과할수록 성장에 차이가 있었다. 특히, 무지개송어의 경우 부화 직후 자어를 절식시키면서 질소 대사량을 조사한 결과, 난황 흡수 후 산소 소비량은 감소한 반면, 암모니아 배설량은 증가하였다. 이러한 현상은 난황이 흡수된 후에는 체내 저장 단백질을 소비함으로써 성장이 이루어진다는 Oliva and Kaushick (1990)의 보고에서 처럼 먹이를 공급했던 처리구와 절식시킨 대조구 사이에 차이가 있었다. 부화 2일 후 절식시킨 대조구의 생존율은 41.0~60.8%를 유지하였다. 부화 6일 후의 생존율은 절식시킨 대조구와 먹이를 공급했던 처리구 사이에 차이가 더욱 현저하였다. 생존율의 차이 또한 먹이를 공급한 처리구와 먹이를 공급하지 않은 처리구간에도 수온차에 의한 영향을 많이 받았다. 이러한 결과는 난황이 흡수되면서 외부로부터의 먹이 섭취가 이루어져야 정상적인 성장과 생존이 이루어지기 때문(Bogdanova, 1970; Aronovich et al., 1975; Rana, 1990b)인 것으로 생각된다. *Sparus aurata*에서도 난황의 흡수, 부화 및 절식 했을때의 폐사는 수온과 비례한다고 보고하고 있어(Polo et al., 1991), 이 실험 결과와 거의 일치하고 있다. 특히 해산어는 담수어와 달리 산란량이 많고, 알이 소형으로

난황 역시 작기(Shirota, 1970, 隆島·羽生, 1989) 때문에 최초 먹이 섭취가 빨라야 한다 한편 태생어인 조피볼락은 출산직후부터 먹이를 섭취하기 때문에 최초 먹이공급이 빨라야 한다고 생각된다.

절식했을때의 최대 생존일수는 수온과 개체에 따라 다소 차이가 있으나, 자연에서 어획된 어미로부터 출산된 개체는 15.0℃에서 9~10일, 17.0℃에서 9~10일, 19℃에서 6일, 21℃에서는 5일이었다. 그러나 인위적으로 사육된 조기출산 자어의 생존일수는 각각 8~12일, 7~10일, 6~9일, 5~7일로서 전자와 후자 모두 수온이 높아질수록 생존기간이 짧았으며, 같은 처리구간에도 동일 시기에 출산 어미의 개체간에도 차이를 보였다 한편 新聞·키ヶ堂(1981)는 태생 경골 어류인 쏘뱅이의 신생 자어의 활력을 분석하기 위해 기아시 생존활력지수 (survival activity index, SAI)를 조사한 결과 3.3~58.8이었고, 먹이를 공급하여 사육한 경우에는 생존율이 높은 군이 SAI가 높다는 것을 알았다. 慶德 等 (1985)은 참돔의 부화 자어에 먹이를 주지 않고 사육하여 부화 후 1~7일의 평균 생존율과 그 군의 종묘생산에서의 생존율 사이에 강한 상관성을 보였다고 하였다. 이러한 결과에서 볼 때 난황을 가진 자어의 생존율은 난질의 평가와 깊은 관계가 깊다. 또한 河野·有元(1990)은 방어의 경우 SAI가 3.44~22.05로 보고한 바 있으며, Mushiake and Sekiya (1993)은 *Pseudocaranx dentex*의 경우 수온 19~24℃에서 SAI값이 6 이상이면 자어 사육시 생존율이 비교적 높다고 하였다. 그러나 초기 자어의 사육이 어려운 붉바리의 경우 Lee et al. (1997)은 1.8~9.6, Yasuhisa and Oda (1990)는 1.7~10.8의 비교적 낮은 SAI를 보고하였다. 이 연구에서 조피볼락은 비교적 SAI값이 높게 나타났으나 수온과 개체에 따라서 상당한 차이가 인정되었다. 전 처리구에서 비교적 생존율이 높게 나타난 15℃ 처리구에서는 출산 후 7~8일째에 사망 개체수가 가장 높게 나타났고, 이때의 SAI 값은 개체에 따라 차이가 상당히 크게 나타났다. 양성 어미로부터

출산된 자어는 18.94~38.18 범위였고, 자연산 어미의 출산 자어는 13.96~20.22로서 대체로 양성 어미로부터 출산된 자어가 높게 나타났다. 19℃ 처리구에서는 전자의 경우 1.98~12.12, 후자의 경우 6.48~7.54로서 특히 자연산 어미로부터 출산된 자어에 비하여 양성 어미에서 출산된 자어는 처리 개시 1일이 경과된 후부터 사망개체수가 많이 출현하였다. 이러한 결과는 조기출산 친어의 사육수온이 $13.5 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 실험 수온과의 심한 차이와 밀접한 관계가 있을 것으로 생각된다. 또 적정 사육수온에서도 출산 후 7~8일경에 대량 폐사가 일어나는 현상은 이 종의 절식에 따른 생존가능 한계와 관계되는 것으로 생각된다. 한편 1년 생 농어, *Dicentrachus labrax* 에게 먹이를 공급하지 않았을 때의 체내 화학적 조성을 조사한 Pastoureaud (1991)의 보고에 의하면 절식시킨 부화 자어의 화학적 조성은 초기에는 먹이를 공급한 처리구와는 큰 차이가 없었으나, 점차 시간이 지나면서 지방함량은 감소하고 수분 함량이 증가하면서 체중은 감소한다고 하였다. 이러한 현상은 고수온 처리구에서 더욱 현저하게 나타났다. 즉, 에너지원으로 가장 쉽게 이용되는 간의 글리코젠을 아끼기 위해서 지방이 소비되기 때문이라고 보고하고 있다. 이 연구에서도 출산된 자어를 절식했을 때 체중 감소는 수온이 높을수록 빠르고, 생존 일수도 짧아지는 경향을 보이고 있다. 그리고 佐藤 等(1983)은 자·치어의 건강도를 평가하기 위하여 처음으로 시작한 방법으로서, 실내에서 생산된 참돔 치어를 외해에 방류시 적정 크기를 알기 위한 작업으로 망목 1 mm 그물로 뜬 자·치어를 5초간 간출을 2회 반복하고 24시간 후의 생존율을 구하였다. 이 방법은 간편하기 때문에 그 후로 활력 테스트라고 불리며, 먹이 실험의 결과를 판정하는데 종종 이용되었다(Kitajima et al., 1979). 그러나 이 연구에서 조피볼락 출산 직후의 자어는 다른 어종과는 달리 공기 노출에 대단히 약하여 모든 처리구에서 10초를 경과하면 대부분이 폐사하였으며, 출산 일자에 따른 개체간의 차이는 인정되지만, 처리구간의 차이는 인정되지 않았다.

V. 요약

1. 어미관리 및 생식세포의 발달과 혈청 성 스테로이드의 변화

조피볼락, *Sebastes schlegelii*의 출산 조절을 위한 번식기구의 제어를 위하여 암·수 총 370마리(암컷: 전장, 421 ± 19 cm, 체중, 1234 ± 171 g, 수컷: 전장 32.2 ± 1.5 cm, 체중, 584 ± 78 g)를 제주대학교 해양연구소내 순환여과 시스템으로 구성된 5톤 수조 4개에 각각 분리 수용하여 유수식으로 사육하였다.

교미시기의 광주기는 9L : 15D로 조절하였으며, 교미후의 광주기를 서서히 증가시켜 출산시기의 광주기는 14L : 10D로 조절했다. 교미시기의 수온은 12~13℃에서 9~11℃까지 조절하였으며, 이후에 서서히 수온을 증가시켜 출산시기의 수온은 14~15℃로 조절했다. 대조구에 있어서 교미에서 출산까지 소요기간은 138일인데 반하여, 광주기·수온을 조절한 처리구에서는 교미에서 출산까지 소요시간은 1차실험에서 118일, 2차실험에서 119일 걸렸다.

방사면역측정법에 의한 성성숙과 관련된 혈청 성 스테로이드 농도 변화에서 암컷의 경우 testosterone (T)과 estradiol-17 β (E₂)는 대부분 난소내 난 세포질에 난황구들이 축적되어, 난경이 400 μ m 이상 되는 난모세포들로 구성되는 단계로서 처리구는 1996년 11월에, 대조구는 1997년 2월에 최대값을 보였다 그리고 수컷의 경우 T의 농도는 처리구에서 정소내 정모세포와 정세포들이 대부분 차지하고, 정소소관에 정자무리들이 출현하는 1996년 8월에서 10월에 가장 높았고, 교미후 11월에 급격히 낮아졌다.

2. 번식주기

수컷의 GSI는 1996년 4월에서 6월까지의 약 0.12로 뚜렷한 변화는 없었고, 처리구에서는 10월에 1.27, 대조구는 11월에 1.36으로 각각 최대값에 달하였다.

암컷의 GSI는 1996년 1월에 1.8, 4월에 4.3으로 비교적 낮았지만, 처리구는 1997년 2월에 42.0, 대조구는 4월에 46.5로 각각 최대값을 가졌다.

6월의 수컷의 정소는 수질층에 많은 정소소관으로 이루어져 있었고, 기부에 수정세관들이 분기되어 있었다. 그리고 정소소관 내에 정원세포와 정세포 무리들이 분포하고 있었다. 8월 처리구의 정소내에는 정모세포와 정세포 무리들이 활발한 발달단계를 보여주고 있었고, 10월에 정소기부에 수정소관과 수정관에는 정자무리들로 가득차 있었다. 11월에 정소소관내에 미방정된 소수의 정자들이 분포하고, 2월 휴지기 상태로 정소소관내에 정원세포들이 분포하고 있었다. 6월의 난소내에 어린 난모세포들만이 분포하고 있으며, 8월에는 6월에 비해 더 많은 어린 난모세포들이 분포하고 있었다. 10월의 난소내에 주로 난황주기 단계의 난모세포들이 분포하고 있었고, 11월의 난소내에 난모세포 사이의 상피층에 정자무리들이 나타나고 있었다. 1997년 1월에는 난소내에 수정란의 발생이 진행되고 2월말에는 난소내에 난황을 가진 부화개체들이 출현하고 있었다.

교미시기의 수컷은 생식돌기가 비대해졌고, 그 선단부의 색깔 또한 유백색에서 검붉은색으로 변하였다. 교미시기의 암컷은 난소내 난모세포들 사이의 간질에 소수의 정자들이 분포하였고, 생식공 주위가 충혈되어 자색 또는 암청색으로 변하였다. 암컷과 수컷의 외부 형태 및 색체의 변화로 교미시기를 알 수 있었다.

번식주기는 정소내 정자형성과정과 난소내 난 발달 및 교미·수정, 자어 발달 등에 따라 구분하였다. 대조구에서 수컷의 경우 성장기(6월 ~ 8월), 성숙기 (9월 ~

10월), 교미기(11월), 휴지기(12월 ~ 2월)로 나눌 수 있었고, 암컷의 경우, 휴지기(5월), 성장기(6월 ~ 10월), 성숙 및 교미기(11월 ~ 3월), 임신 및 출산기(4월)로 나누었다. 광주기와 수온을 조절한 처리구에서도 정소와 난소의 발달 양상은 대조구와 유사하였으나, 1차실험에서는 대조구에 비해 정소의 발달은 1개월 앞섰고, 난소내 수정·난 발생 및 출산은 38일, 2차 실험에서 출산은 약 78일 앞당길 수 있었다.

3. 출산 조절 및 자·치어 성장

조피블락 암컷은 출산시기에, 생식공을 포함하여 양 복부가 가운데 쪽으로 부풀어 오면서, 서서히 바닥으로 내려앉았다. 그리고 호흡수가 점차 빨라졌다. 사육수온 13.5~13.8℃에서 출산시 암컷의 호흡수는 체중 2.2~2.9 kg 되는 어미에서 47~48회/분, 체중 1.6~2.0 kg되는 어미에서 50~53회/분 었다. 그리고 출산은 대부분은 밤 12시에서 새벽 4시 사이에 일어났다.

출산 자어는 수온 13.5~14.2℃에서 사육시, 출산 42일째에 평균 전장 13.1±1.5 mm 로 성장하였다.. 그리고 수온 16.0±16.5℃에서 사육시 출산 후 70일째에는 가장 빨리 성장한 개체가 5.2±0.4 cm, 중간으로 성장한 개체가 3.4±0.4 cm, 가장 느리게 성장한 개체가 2.0±0.2 cm 었다. 따라서 사육환경(광주기·수온) 제어로 조피블락의 교미 및 출산 조절이 확실하게 가능하였으며, 조피블락 종묘생산의 생산성을 향상시킬 수 있다.

VI. 참고문헌

- Ahlstrom, E H. 1961. Distribution and relation abundance of rockfish (*Sebastes* spp) larvae off California and Baja California. *Rapp. P. V. Cons. Perm. Explor. Mer.*, 150 : 169~176
- Aida, K. 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleostei. *Bull. Inst. Zool., Academia Sinica, Monograph* 16 : 173~187.
- Aronovich, R M., S I. Doroshev, L. V. Spectrova and V. M. Makhotin. 1975 Egg incubation and larval rearing of navaga (*Eleginus navaga* Pall.), polar cod (*Boreogadus saida* Lepechin) and arctic flounder (*Liopsetta glacialis* Pall.) in the laboratory. *Aquaculture*, 6 : 233~242.
- Asahina, K., I. Iwashita, I. Hanyu and T. Hibiya. 1980. Annual reproductive cycle of a bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46 : 299~305. (in Japanese)
- Asahina, K and I. Hanyu. 1983. Role of temperature and photoperiod in annual reproductive cycle of the rose bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 49 : 61~67. (in Japanese)
- Asahina, K. and I. Hanyu. 1985. Development of photoperiodism involved in the gonadal activity of the bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. *Bull. Jap Soc Sci. Fish.*, 51 : 1665~1670. (in Japanese)
- Asahina, K. and I. Hanyu. 1991. Effects of temperatures during winter on gonadal recrudescence in spring in the rose bitterling, *Rhodeus*

ocellatus ocellatus. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 57 : 255~260. (in Japanese)

Bae H C, S. C Chung, J. J. Lee and Y. D. Lee. 1988. Annual reproductive cycle and embryonic development within the maternal body of the marbled rockfish, *Sebastes marmoratus* from the Cheju Island. *J. Korean Fish. Soc.* 31(4). 489~499. (in Korean)

Baek, H. J. and T. Y. Lee. 1985. Experiment studies on the mechanism of reproductive cycle in the longchim goby, *Chasmichthys dolichognathus* (HILGENDORF). *Bull. Korean Fish. Soc.*, 18(3). 243~252. (in Korean)

Blackburn, D. G. 1982. Classification of the reproductive modes of vertebrates. *Am Zool*, 22 : pp 910

Boehlert, G. W. and M. M. Yoklavich. 1983. Effects of temperature, ration, and fish size on growth of juvenile black rockfish, *Sebastes schlegelii* *Env Biol. Fish.*, 8 : 17~28.

Boehlert, G W. and M. M. Yoklavich. 1984. Reproduction, embryonic energetics and the maternal-fetal relationship in the viviparous genus *Sebastes* (Pisces: Scorpaenidae). *Biol Bull. (Woods Hole)*, 167 : 354~370.

Boehlert, G. W, M. Kusakari, M. Shimizu and J. Yamada. 1986. Energetics during embryonic development in the kurosoi, *Sebastes schlegelii* (HILGENDORF). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 101 : 239~256.

Boehlert, G. W. and J. Yamada. 1991. Rockfishes of the Genus *Sebastes*. their reproduction and early life history. *Dordrecht, Kluwer*

Academic Publ., pp. 11~28.

- Bogadanova, L. S. 1970. The transition of *Tilapia mossambica* Peters larvae to active feeding. *J. Ichthyl.*, 10 : 427~430.
- Breton, B. and R. Billard. 1977. Effects of photoperiod and temperature on plasma gonadotropin and spermatogenesis in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, 17 : 331~340.
- Britz, P. J. and T. Hecht. 1987. Temperature preferences and optimum temperature for growth of African sharptooth catfish, *Clarias gariepinus* larvae and post-larvae *Aquaculture*, 63 . 205~214.
- Bry, C., M. G. Hollebecq, V. Ginot, G. Isreal and J. Manelphe. 1991. Growth pattern of pike (*Esox lucius* L.) larvae and juveniles in small ponds under various natural temperature regimes. *Aquaculture*, 97 : 155~168.
- Bullough, W. S. 1939. A study of the reproductive cycle of the minnow in relation to the environment, *Proc. Zool. Lond. Ser. A.*, 109 . 79~102.
- Chang, D. S. and D. G. Kim. 1991. Age and growth of *Sebasticus marmoratus* (Cuvier et Valenciennes). *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*. 45 : 63~70. (in Korean)
- Chang, Y. J., H. K. Lim and S. G. Byun. 1995. Gonadal maturation and reproductive cycle in oblong rockfish, *Sebastes oblongus*. *J. Aquaculture*, 8(1). 31~46. (in Korean)

- Chung, E Y, Y J Chang and K K. Lee 1995 Activities of hepatocytes and changes of protein and total RNA contents on liver and muscle of *Sebastes schlegeli* with the gonadal maturation. *J. Korean Fish. Soc* 28(3) 338~346. (in Korean)
- Chyung, M K 1977 The Fishes of Korea *IL JI SA Publishing Co.*, Seoul. 727 pp. (in Korean)
- Corey, P. D., D. A. Leith and M. J. English. 1983. A growth model for coho salmon including effects of varying ration allotments and temperature. *Aquaculture*, 30 : 125~143.
- De Vlaming, V. L. 1972a. Environmental control of teleost reproductive cycles . a brief review *J. Fish. Biol*, 4 : 131~140.
- De Vlaming, V. L. 1972b The effects of temperature and photoperiod on reproductive cycling in the estuarine gobbid 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, D. Baltz, S. Anderson, R. Fitzgerald, G. Delahunty and M. Barkley. 1983. Aspects of embryo nutrition and excretion among viviparous embiotocid teleosts: potential endocrine involvements. *Comp. Biochem. Physiol.*, 76(A). 189~198.
- Duncan, D. B. 1955. Multiple-range test and multiple F test. *Biometrics*, 11 : 1~42.

- Eigenmann, C. H. 1982. The fishes of San Diego California. *Proc. U. S. Nat Mus.*, 15 : 123~1278
- FAO. 1977. Yearbook of fishery statistics 1976 catches and landings. Fisheries Statistics Series, Food and Agriculture Organization, United Nations Rome. Vol. 42.
- FAO 1988. Yearbook of fishery statistics. 1986 catches and landings. Fisheries Statistics Series, Food and Agriculture Organization United Nations Rome. Vol. 62.
- Fry, F. E. J. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish *In: W. S. Hoar and D. J. Randal (Editors), Fish Physiology Vol. IV. Academic Press, New York, U.S.A.* pp. 1~98
- Fujita, S. 1957. On the larval stages of a scorpaenid fish, *Sebastes pachycephalus nigricans* (Schmidt). *Jap. J. Ichthyol.*, 6 : 91~93. (in Japanese)
- Goolish, E. M. and I. R. Adelman. 1984. Effects of ration size and temperature on the growth of juvenile common carp, *Cyprinus carpio* L. *Aquaculture*, 36 : 27~35.
- Harada, E. 1962. A contribution to the biology of the black rockfish, *Sebastes inermis* (Cuvier et Valenciennes). *Publ. Seto Mar. Biol Lab.*, 10 : 307~361.
- Hara, A., A. Takemura, T. Matsubara and K. Takano. 1986. Immunochemical identification of female-specific serum proteins in a viviparous fish, the white-edged rockfish, *Sebastes taczanowskii* during vitellogenesis

- and pregnancy, and after estrogen treatment. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 37 : 101~110. (in Japanese)
- Herzig, A. and H. Winkler. 1986. The influence of temperature on the embryonic development of three cyprinid fishes, *Aramis brama*, *Chalcabrunus chacooides mento* and *Vimba bimba*. *J. Fish. Biol.*, 28 : 171~181.
- Hornbeek, F. K., P. J. Sawyer and E. S. Sawyer. 1982. Growth of winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) and smooth flounder (*Liopsetta putnami*) in heated and unheated water. *Aquaculture*, 28 : 363~373.
- Hoshiai, G. 1977. Larvae and juveniles of the Scorpaenid fish, *Sebastes schlegeli*. *Jap. J. Ichthyol.*, 24(1). 35~42. (in Japanese)
- Hunter, J. R. 1981. Feeding ecology and predation of marine fish larvae. In : R. Lasker (Editor), *Marine Fish Larvae*. Washington Sea Grant, Seattle, U.S.A. pp. 33~77.
- Igarashi, T. 1968 Ecological studies on a marine ovoviviparous teleost, *Sebastes taczanowskii* (Steindachner) I. Seasonal changes of the testis. *Bull. Fac. Fish Hokkaido Univ.*, 19 : 19~26. (in Japanese)
- Ishii, S. 1961. Effects of some hormones on the gestation of the top minnow, *Gambusia affinis*. *J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sect.*, 4, 9 : 279~290. (in Japanese)
- Ishii, S. 1963. Some factors involved in the delivery of the young in the top minnow, *Gambusia affinis*. *J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sect.*, 4, 10 : 181~187 (in Japanese)

- Johnson, D. W. and I. Katavic. 1986. Survival and growth of sea bass, *Dicentrarchus labrax* larvae as influenced by temperature, salinity and delayed initial feeding. *Aquaculture*, 52 : 11~19.
- 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(4) 574~580. (in Korean)
- Kendall, A W, J. E. Ahlstrom and H. G. Moser. 1984. Early life histology stage of fishes and their characters. II-22 In H. G. Moser, W. J Richards, D. M. Cohen, M. P. Fahay, A W. Kendall, Jr. and S L Richardson(ed.) Ontogeny and Systematics of Fishes, *Amer. Soc. Ichthyol. Herpetol. Spec. Publ.* No. 1.
- Kim, Y. and S. B Hur. 1991. Spawning inducement of flounder, *Paralichthys olivaceus* by the control of water temperature and photoperiod *J. Aquaculture*, 4(2). 85~95. (in Korean)
- Kim Y. U. and K. H. Han. 1991. The early life history of rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Korean J. Ichthyol.*, 3(2). 67~83. (in Korean)
- Kime, D. E. and D J Groves. 1986 Steroidogenesis by gonads of a viviparous teleost, the sailfin molly (*Poecilia latipinna*), *in vitro* and *in vivo*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 63 : 125~133.
- Kitajima, C., S. Fusita, F. Ohwa, Y. Yone and T. Watanabe. 1979. Improvement of dietary value for red sea bream larvae of rotifers *Brachionus plicatilis* culture with baker's yeast *Saccaromyces*

- cerevisiae*. *Bull. of the Jap. Soc. of Sci. Fish.*, 45(4). 469~471. (in Japanese)
- Korean fisheries yearbook. 1995. *Dong Yang Mun Hwa Co. Ltd.* 640 pp.
- Korsgaard, B. and I. Petersen. 1979. Vitellogenin, lipid and carbohydrate metabolism during vitellogenesis and pregnancy and after hormonal induction in the blenny, *Zoarces viviparus* (L.). *Comp. Biochem. Physiol.*, 63B : 245~251.
- Kusakari, M., Y. Mori and K. Kudo. 1977. Studies on the breeding habit of a rockfish, *Sebastes schlegeli* (HILGENDORF). 2. On the breeding behavior of pregnant fish and the just spawned larvae. *J. Hokkaido Fish. Exp. St.*, 34 : 1~11. (in Japanese)
- Kusakari, M. 1995. Studies on the reproductive biology and artificial artificial juvenile production of kurosoi *Sebastes schlegeli* (HILGENDORF). *Sci. Rep. Hokkaido Exp. Stn.* 47, 41~124. (in Japanese)
- Larson, R. J. 1980. Influence of territoriality on adult density in two rockfishes of the genus *Sebastes*. *Mar. Biol.*, 58 : 123~132.
- Lasker, R., H. M. Feder, G. H. Theilacker and R. C. May. 1970. Feeding growth, and survival of *Engraulis modax* larvae reared in the laboratory. *Mar Biol.*, 5 : 345~353.
- Lee, C. K., S. B. Hur, S. Park and B. G. Kim. 1997. Qualities of spawned eggs during the spawning period in red spotted grouper, *Epinephelus akaara*. *J. Aquaculture*. 10(4). 463~472. (in Korean)

- Lee, J. S., C. M. An and P. Chin. 1996. Copulation and embryonic development of the viviparous teleost surfperch, *Ditrema temmincki*. *J. Korean Fish. Soc* 29(1). 26~34. (in Korean)
- Lee, J. U., S. J. Son and J. H. Baek. 1989. The optimum stocking density of red seabream, *Pagrus major*, fry. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*. 43 : 165~172. (in Korean)
- Lee, T. Y., I. Hanyu and K. Furukawa. 1984. Effects of photoperiod and temperature on the gonadal activity in small filefish, *Rudarius ercodes*. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 17(6) 523~528. (in Korean)
- Lee, T. Y. and S. Y. Kim. 1987. Experimental studies on the mechanism of reproductive cycle in the bluegill, *Lepomis macrochirus*. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 20(6). 489~500. (in Korean)
- Lee, T. Y. and S. Y. Kim. 1992. Reproduction and embryonic development within the maternal body of ovoviviparous teleost, *Sebastes inermis*. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 25(5). 413~431. (in Korean)
- Lee, Y. D., S. Rho, Y. J. Chang, H. J. Baek and C. M. An. 1996. Sex differentiation of the rockfish, *Sebastes schlegeli*. *J. Korean Fish. Soc.* 29(1). 44~50. (in Korean)
- Lundquist, H. 1980. Influence of photoperiod on growth in Baltic salmon parr (*Salmo salar* L.) with special reference to the effect of precocious sexual maturation. *Can. J. Zool.*, 58 : 940~944.
- May, R. C. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. *In* : W. S. Hoar and D. J. Randall (Editors), *Fish Physiology*, Vol. VI. Academic Press, New York. U.S.A. pp. 1~98.

- Mendoza, G 1940. The reproductive cycle of the viviparous teleost, *Neotoca bilineata*. A number of the family Goodeidae. II. The cycle changes in the ovarian soma during gestation. *Biol. Bull*, 78 : 349 ~365.
- Mendoza, G. 1943 The reproductive cycle of the viviparous teleost, *Neotoca bilineata*. A number of the family Goodeidae IV. The germinal tissue. *Biol. Bull*, 84 : 87~97.
- Min, B. S. 1988. Maturation and spawning of flounder *Paralichthys olivaceus* under captive conditions. *J. Aquaculture*, 1(1). 25~39. (in Korean)
- Mizue, K. 1957. Studies on a scorpaenous fish *Sebastes marmoratus* (Cuvier et Valenciennes) I. On the monthly variation of gonad maturity. *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ.*, 5 : 27~29. (in Japanese)
- Moser, H. G. 1967. Reproduction and development of *Sebastes paucispinis* and comparison with other rockfishes off southern California. *Copeia.*, 773~797
- Moser, H. G and E H Ahlstrom 1978 Larvae and pelagic juveniles of blackgill rockfish, *Sebastes melanostomus*, taken in midwater trawls off southern California and Baja California. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 35 : 981~996.
- Moulton, L L. 1975. Life history observations on the Puget Sound rockfish, *Sebastes emphaeus* (Starks, 1911) *J Fish Res. Bd. Can.*, 32 : 1439~1442.

- Mushiake. K and S Sekiya. 1993. Atrial of evaluation of activity in striped jack, *Pseudocaranx dentex* larvae. *Suisanzoshoku*. 41(2). 155~160. (in Japanese)
- Murray, R W 1971. Temperature receptors. *In* : W. S. Hoar and D. J. Randall (Editors), *Fish Physiology*, Vol. V. Academic Press, New York. U.S.A. pp. 121~133.
- Nagahama, Y., A. Takemura, K. Takano, S. Adachi and M. Kusakari. 1991. Serum steroid hormon levels in relation to the reproductive cycle of *Sebastes taczanowskii* and *S. schlegeli*. *Environ. Biol. Fish.*, 30 : 15~22.
- Nakari, T., A. Soivio and S Pesonen 1986. Effects of advanced photoperiod cycle on the epidermis and gonadosomatic index of 2-year-old rainbow trout, *Salmo gairdneri* R, reared at natural temperature. *J. Fish Biol.*, 29 : 451~457
- Nishi, K. and K. Takano 1979. Effects of photoperiod and temperature on the ovary of the bitterling, *Rhodeus ocellatus ocellatus*. *Bull. Fac Fish. Hokkaido Univ.*, 30(1). 63~73. (in Japanese)
- Nishi, K. 1979. A daily rhythm in the photosensitive development of the in the bitterling, *Rhodeus ccellatus ccellatus*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido univ.*, 30(2). 109~115. (in Japanese)
- Oliva-Teles, A. and S. J. Kaushick. 1990. Effects of temperature on utilization of endogenous energy reverses during embryonic development of diploid and triploid rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Aquaculture*, 84 : 373~382.

- Park, S., S. Rho and S. K. Kim. 1993. The parturition and early growth of rockfish, *Sebastes schlegelii*. *Bull Nat Fish. Res Dev. Agency*. 7 : 45~57. (in Korea)
- Pastoureaud, A. 1991. Influence of starvation at low temperature on utilization of endogenous energy reserves, appetite recovery and growth character on sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 99 : 167~178
- Phillips, J. B. 1964. Life history studies on ten species of rockfish (genus *Sebastes*). Calif. Dep. Fish Game, *Fish Bull.*, 126 : 70p.
- Polo, A. M. Yufera and E. Pascual. 1991. Effects of temperature on egg and larval development of *Aparus aurata* L. *Aquaculture*, 92 : 367~375.
- Rana, K. J. 1990b. Influence of incubation temperature on *Oreochromis niloticus* (L.) eggs and fry II. Survival, growth and feeding of fry developing solely on their yolk reserves. *Aquaculture*. 87 : 183~195.
- Razani, H and I. Hanyu. 1986a. Effects of continued short photoperiod at warm temperature and following change of regimes on gonadal maturation of goldfish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 52 : 2061~2068 (in Japanese)
- Razani, H. and I. Hanyu. 1986b. Annual reproductive cycle 2-3 years old female goldfish and its artificial modification by manipulations of water temperature and photoperiod. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 52 : 965~969. (in Japanese)

- Sasaki T. 1974. On the larvae of three species of rockfish (Genus : *Sebastes*) in Hokkaido. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 25 : 169~173. (in Japanese)
- Sasaki T. and T. Igarashi. 1974. Seasonal changes of the testis and the in. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 25 : 100~106. (in Japanese)
- Sasaki, T. 1976. The larvae of two scorpaenid fishes, *Sebastes wakiyai* and *S. iracundus* *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 42 : 1353~1356. (in Japanese)
- Shimizu, A. and I. Hanyu. 1982. Environmental regulation of annul reproduction cycle in a spring-spawning bitterling, *Acheilognathus tabira*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 48 : 1563~1568. (in Japanese)
- Shimizu, A and I. Hanyu 1983. Environmental regulation of spawning-period in autumn-spawning bitterling *Pseudoperilampus typus*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 49 : 895~900. (in Japanese)
- Shimizu, A. and I. Hanyu. 1993. Factors involved in the development of and decline in photoperiodism as it relates to the gonadal activity of a spring spawning bitterling, *Acheilognathus tabira*. *J. Exp. Zool.*, 265 : 134~143.
- Shiokawa, T. and H Tsukahara. 1961. Studies on habits of coastal fishes in the Amakusa Islands. I. Early life history of the purple rockfish, *Sebastes pachycephalus pachycephalus* (Temminck et Schlegel). *Rec. Oceanogr. Works Jap Spec.*, 5 : 123~127.
- Shinomiya, A and O. Ezaki 1991. Mating habits of the rockfish *Sebastes inermis*. *Env. Biol. Fish.*, 30 : 15~22.

- Shirota, A. 1970. Studies on the mouth size of fish larvae. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 36(4). 353~369. (in Japanese)
- Sorokin, V. P. 1961. The redfish ; gametogenesis and migration of the *Sebastes marinus* (L) and *Sebastes mentella* Travin. *Rapp. Cons. Explor Mer.*, 150 : 245~250.
- Station Experimentale d' Aquaculture de Palavas. 1984. Synthèse des données sur la gestion d' un stock de reproducteurs de lousps et de daurades. 388 : 1~20.
- Takahashi, H, K. Takano and A Takemura. 1991 Reproductive cycles of *Sebastes taczanowskii*, compared with those of other rockfishes of the genus *Sebastes*. *Env. Biol. Fish.*, 30 : 23~29.
- Takemura, A., Takano and H. Takahashi. 1995. The uptake of macromolecular materials in the hindgut of viviparous rockfish embryos. *J Fish Biol.*, 46 : 485~493.
- Trout, G. C. (ed.). 1961. ICES/ICNAF redfish symposium. *Int. Comm. Northwest Atl. Fish., Spec. Publ.*, 3 : 311p.
- Turner, C. L. 1942. Diversity of endocrine function in the reproduction of viviparous fishes. *Amer. Nat* , 76 . 179~190.
- Veith, W. J. 1980. Viviparity and embryonic adaptation in the teleost *Clinus superciliosus*. *Can. J Zool.*, 58(1). 1~12.
- Wiebe, J. P. 1968. The reproductive cycle of the viviparous seaperch, *Cymatogaster aggregata* Gibbon. *Can. J. Zool.*, 46 : 1221~1234.
- Wourms, J. P. 1981. Viviparity : The maternal-fatal relationship in fishes. *Amer. Zool.*, 21 : 473~515.

- Wourms, J. P., B. D. Grove and J. Lombardi. 1988. The maternal-embryonic relationship in viviparous fishes. pp. 1~134. In: W. S. Hoar & D. J. Randall (ed.) Fish Physiology, Volume 11B, *Academic Press, New York*.
- Yamada, J. and M. Kusakari. 1991. Staging and the time course of embryonic development in kurosoi, *Sebastes schlegeli*. *Env. Biol. Fish.*, 30 : 15~22.
- Yasuhisa, K. and T. Oda. 1990. Quality of natural spawned eggs in red spotted grouper, *Epinephelus akaara* reared in tank. Okayama Prefecture *Fish. Cent.*, 5 : 48~52. (in Japanese)
- Yi, Y. H. and Y. J. Chang. 1994. Physiological effects of seamustard supplement diet on the growth and body composition of young rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Bull. Korean Fish. Soc.* 27(1). 69~82. (in Korean)
- Yokogawa, K., M. Icuchi and K. I. Yamaga. 1992. Age, growth and condition factor of black rockfish, *Sebastes inermis* in southern coastal waters of the Harima sea *Suisanzoshoku*. 40(2). 235~240 (in Japanese)
- Yang, Y. R. 1985. Response of rockfish to the colored lights. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 18(2). 119~123. (in Korean)
- 岡本亮. 1969. タイ類の増養殖に関するシンポジウム. マダイの稚魚飼育. *日水誌*. 35 : 563~566.
- 岡田鳳二・工藤智・林和明. 1975. シシヤモ *Sprinchus lanceolatus* (HIKITA)の産

卵生態-1 水槽内での産卵行動について 北海道水産孵化場研報. 30 : 31
~38.

慶徳尚壽・安江浩・田中實・花岡絹代・中杉祥子・裏崎憲子. 1985. タイ類種苗生産 1
ふ化仔魚の活力. 広島縣栽培漁業協會, 種出生産業務報告. 4 : 6~7.

古賀文洋・田中義興・中園明信 1971 水槽内におけるマダイ、クロダイの産卵につ
いて. 九州大學農學部附屬水産實驗所研究報告. 1 : 83~89.

高野和則 1987. 生殖器官 '水産養殖學講座 1. 魚類解剖學'(落合明 編著), 綠書房,
東京, pp. 193~219.

榎田晋・落合明. 1975. 攝餌または飢餓状態のブリ魚における消化器官の組織學的
構造と機能について. 日本魚類學雜誌. 21 : 213~219

伏見徹・増村和彦・佐藤証明 1972. 養成マダイからの採卵に関する研究-II. 越冬期
間の加温飼育の効果について. 広島水試研報., 3 : 41~47.

北島力. 1993. 健苗性評價手法, 3. 飼育過程での評價方法, 放流魚の健苗性と育成
技術, 水産學シリーズ, 93 31~40

山下金義. 1967 マダイ, 養殖學各論 川本信之編. 恒星社厚生閣. 東京, 日本. pp.
515~524.

水江 弘. 1958. カサゴの研究-IV, 海産卵胎生硬骨魚類の交接器に就いて, 長崎大
學水産學部研究報告, 8 : 80~83.

新聞脩子・汁ヶ堂諦. 1981. カサゴ親魚の生化学的性狀と仔魚の活力について. 養殖
研究報., 2 : 11~20.

辻ヶ堂諦・川村龍彦・宗清正廣 1973 魚類種苗生産研究-II. 加温海水飼育によるマ
ダイの早期産卵について. 三重縣尾駕水試 : 6p

鈴木克美・日置勝三・田中洋一・岩佐和裕. 1979. 水槽内で観察されたタテジマッコ
Genicanthus lamarck およびトッコ, *G. semifasciatus*の産卵習性・卵・仔

魚および性轉換. 東海大學海洋學部紀要, 12 : 149~165.

鈴木克美・日置勝三・小林弘治・田中洋 . 1981a. イトヒキベラ及びホソワケベラの卵内發生・初期仔魚並びに産卵習性について.東海大學海洋學部起要, 14 : 369~377.

鈴木克美・田中洋 . 日置勝三・上野信平. 1981b. 水槽内で觀察されたハオコゼの産卵習性と初期生活史. 東海大學海洋學部紀要, 14 : 357~367.

鈴木克美・日置勝三・田中洋一・北澤博. 1983. 水槽内におけるセトダイ, *Haplog-enys mucronatus*の産卵と初期生活史. 東海大學海洋學部紀要. 16 : 183~191.

五十嵐孝夫. 1968. 海産卵胎生硬骨魚エゾメバル *Sebastes taczanowskii* (STEINDACHNER)の生態學的研究 II. 雄性交接器について. 北大水産彙報 19 : 27~38.

隆島史夫. 1982. サケ・マス類, 魚介類の成熟・産卵の制御(日本水産學會篇), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 90~103.

隆島史夫・羽生功. 1989 水族繁殖學, 水産養殖學講座 第4卷. 緑書房, 東京, 日本. 439 pp

伊島時郎・阿部登志勝・平川京三郎・烏島嘉明. 1986. 長口處理によるヒラメの早期採卵. 栽培技研., 15(1). 57~62.

伊東祐方. 1956. 硬骨魚類の産卵時刻について. 日本生態學會誌, 9 : 116~120.

的場實・道津吉衛. 1977 有名海産トビハゼの産卵行動. 長大水産研報. 43 : 23~52

烏島嘉明・平川諒三郎・武田年秋. 1975. クロソイの稚魚採捕と育成. 大分水試事報., 9 : 1~9.

中村彰男. 1985. 秋田縣における養成クロソイの養成過程. 日本海ブロック試研究集録. 日本海區水研報, 6 : 1~10.

- 佐々木達. 1975. 卵胎生魚メバル族魚類數種の生殖後期發生・成長に関する研究. 北海道入學博士論文 180p.
- 佐々木攻. 1981. クロソイの養殖, 種苗生産と養成について. 養殖, 7・90~95.
- 草刈宗晴・森泰雄. 1977. クロソイの産出生態に関する研究(第1報). 北水試月報., 34(6) 1~8.
- 草刈宗晴・森泰雄・工藤敬司 1979. クロソイの産出生態に関する研究(第3). 北水試報月報., 36(1). 1~8.
- 草刈宗晴・森泰雄. 1982. クロソイ種苗生産技術開發試験. VIII. 昭和56年度北海道栽培漁業センター - 事業報告書. 61~74.
- 平野札次郎. 1969. クロタイの稚魚飼育. タイ類の増養殖に関するシンポジウム 日水誌, 35(6) 567~569.
- 河野 一利・有元 操. 1990. 日本栽培漁業協會事業年報. 昭和63年度. 21~29.
- 會田勝美 1996. 魚類の成熟, 發生, 成長とその制御-成熟・産卵の内分泌支配. 水族繁殖學(編著. 隆島史夫・羽生 功) 緑書房, 東京, 日本. pp. 65~102.

감사의 글

학위논문이 완성되기까지 끊임없는 조언과 지도 편달해 주시고, 한없는 사랑으로 희망과 용기를 주신 지도교수 노 섬 교수님께 진심으로 감사드리며, 바쁘신 중에도 본 논문에 대해 자상하고도 세심한 심사와 각별한 격려를 아끼지 않으신 장 영진 교수님, 업무에 바쁘신 중에도 풍부한 지식을 전해주시고 장기간 논문을 교정하여 주신 국립수산진흥원 남해연구소 김 윤 소장님, 그리고 부족한 이 논문을 정성껏 다듬어 주신 송 춘복 교수님과 이 영돈 교수님께 고마움의 인사를 드립니다. 또한 학위기간중 충고와 지도를 아끼지 않으신 이 정재 교수님, 정 상철 교수님, 이 기완 교수님께도 깊은 감사를 드립니다. 그리고 이 논문을 수행함에 있어 실험어 구입, 번식기구제어와 호르몬분석에 많은 도움을 주신 강원도립전문대학 김 형배 교수님과 국립수산진흥원 백 혜자 박사님께도 진심으로 감사드립니다.

실험을 할 수 있도록 장소를 배려해 주시고 적극적으로 지원해 주신 제주대학교 해양연구소 소장님과 이하 전 직원 여러분께 감사를 드립니다. 또한 실험기간동안 본인의 실험처럼 열성적으로 도와준 제주대학교 해양연구소 발생학실험실 나 오수 후배님과 오 성립, 송 영보, 최 정권, 문 순주 후배들께도 감사드리며, 멀리 일본에서 열심히 학문에 정열을 쏟고 있는 김 병호, 임 봉수 후배께도 감사드리며, 지금은 제주도해양수산자원연구소에 근무하시는 고 경민 연구사님께도 고마움을 표합니다. 그리고 밤을 세워가며 자료정리를 위해 자신의 일도 마다하고 선배를 위해 헌신적으로 도와주신 후배 정 민민 박사님과 오래기간 실험실 발전을 위해 어려운 일도 마다않고 동고동락한 김 원평 후배님, 김 필연후배님에게도 고마움을 표하며, 대학원 김 영웅, 문 성호 후배님의 실험실 후배들에게도 고마움을 표합니다.

한편 어려운 여건하에서도 심사를 위해 격려해주시고, 배려해주신 경북 수산자원개발연구소 최 대봉 소장님, 김 태주 생산과장님, 권 기수 계장님께 감사드립니다. 그리고 김 병복 해양 수산과장님께도 감사드립니다.

1982년 제주도에 첫발을 내디딘 후, 만 15년을 항상 제 주위에서 어려운 일이 있을때마다 조언과 도움을 주신 제주대학교 해양연구소 변 수철선생님과 고향을 떠나 타향에서 어려움이 있을때마다 항상 친 동생처럼 보살펴주신 최 찬문 교수님과 안 장영 교수님, 그리고 이 종하선배님께도 감사드립니다.

끝으로 오늘이 있기까지 어려운 여건 속에서도 저의 뜻을 꺾지 않으신 부모님과 험난한 환경속에서도 온갖 희생과 사랑으로 여유를 가지고 이 작은 결실을 거둘 수 있도록 뒷받침을 해주신 형님, 누나, 동생에게도 고마움을 표하며, 앞으로 더욱 더 학문에 매진할 것을 다짐해봅니다.

