

박사학위논문

흰점독가시치, *Siganus canaliculatus*
(Park)의 양식생물학적 연구



제주대학교 대학원

수산생물학과
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

황 형 규

1999년 12월

Biological Studies on Aquaculture of the Rabbitfish, *Siganus canaliculatus* (Park)

Hyung Kyu HWANG

(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

1999. 12

흰점독가시치, *Siganus canaliculatus* (Park)의 양식생물학적 연구

지도교수 노 섬

황 형 규

이 논문을 이학박사 학위논문으로 제출함

1999년 12월

황형규의 이학박사 학위논문을 인준함



심사위원장	홍	성	윤	
위 원	정	상	철	
위 원	이	영	돈	
위 원	최	광	식	
위 원	노		섬	

제주대학교 대학원

1999년 12월

목 차

목 차	i
영문요약(ABSTRACT)	iv
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	5
1. 실험재료	5
2. 방법	7
1) 생식주기	7
2) 산란 유도 및 초기생활사	7
3) 종묘생산	13
4) 양성	21
5) 통계처리	23
III. 결 과	24
1. 생식주기	24
1) 생식소의 구조와 형태	24
2) GSI와 HSI의 월변화	24
3) 생식세포의 형성과정	29
(1) 난형성	29
(2) 정자형성	32
4) 포란수	34
5) 생식주기	34



2. 산란 유도 및 초기 생활사	42
1) 어미의 사육생태	42
2) HCG 처리에 의한 배란유도	44
3) 실내에서의 자연산란	48
(1) 어미의 전장, 체장, 체중 조성	48
(2) 산란 행동과 채란	48
(3) 산란량, 수정 및 부화	51
4) 난발생과 부화	54
(1) 발생과정	54
(2) 발생속도와 부화	59
5) 자치어의 형태발달과 성장단계	63
(1) 전기 자어기	63
(2) 후기 자어기	63
(3) 치어기	66
3. 종묘생산	69
1) 수정란 및 자어의 염분내성	69
(1) 부화시간과 부화율	69
(2) 자어의 전장과 난황 용적	73
(3) 자어의 생존	73
2) 최초 먹이 공급 시기의 결정	76
(1) 난황흡수 및 개구 시간	76
(2) 전장과 입 크기의 관계	78
(3) 최초 먹이 섭취	78
3) 자치어의 성장과 생존율	81
(1) 기아시 생존에 미치는 수온의 영향	81
(2) 먹이 계열에 따른 초기 생존	84



(3) 자치어의 성장과 생존율	84
4) Rotifer와 <i>Artemia</i> nauplii의 섭식	91
(1) Rotifer의 섭식량	91
(2) <i>Artemia</i> nauplii의 섭식량	91
5) 대량 종묘생산	94
4. 양성	99
1) 사육환경	99
2) 월별 성장과 생존율	99
IV. 고 찰	104
V. 요 약	125
VI. 참고문헌	129
감사의 글	143



ABSTRACT

Serial experiments were carried out to investigate the possibility of seed production and aquaculture on the rabbitfish, *Siganus canaliculatus*, distributed locally off the coast of Cheju Island of Korea.

1. Annual reproductive cycle

Annual reproductive cycle of *S. canaliculatus* was studied on the basis of monthly variation of gonadosomatic index (GSI) and histological observations of gonads. Samples were collected monthly by a set net in the coastal area of southern Cheju Island, Korea from January to December, 1996.

The monthly mean GSI values showed similar trends in female and male. The GSI values increased from June and reached the peak in the spawning season of July (9.65 ± 1.96 in females, 10.00 ± 4.27 in males), then decreased rapidly thereafter. Female HSI values ranged from 1.26 ± 0.22 (in April) to 2.34 ± 0.39 (in July) and those in males from 1.27 ± 0.21 (in April) to 1.87 ± 0.30 (in October). Annual reproductive cycle was classified into the following successive stages: in female, early growing stage (in February and May), growing stage (in May and June), mature stage (in June and July), ripe and spawning stage (in July and August), recovery stage (in August and April); and in male, early growing stage (in October and April), growing stage (in April and in May), mature stage (in May and June), ripe and spent stage (in June and August), and recovery stage (in August and December). Based on these data, this species was a synchronous fish having one spawning season a year.

2. Spawning and early life history

Human chorionic gonadotropin (HCG) injected (500, 1,000, 1,500 IU/kg BW) to the wild stocks and the cultured stocks (two years old) to induce the ovulation. All females injected both 1,000 and 1,500 IU/kg of body weight ovulated in all trials. Time to reach ovulation after the injection was 77~270 hours in the wild stock and 192~360 hours in the cultured stock, showing shorter as spawning season approached. Generally, time to ovulation of the smaller females was a little late than that of larger ones. Gonadosomatic index (GSI) and pseudo-gonadosomatic index (Pseudo-GSI) were 28.6% and 24.0% in the wild rabbitfish, and 18.0% and 14.7% in the cultured stock, respectively. Hatching rates of the fish treated with 500 and 1,000 IU/kg were relatively higher than that of the fish with 1,500 IU/kg treatment. This result demonstrates that HCG treatment during spawning season could be very useful method for ovulation on *S. canaliculatus* and its suitable dosage was suggested as 1,000 IU/kg.

Broodstocks were stocked in indoor tanks to induce natural spawning in spawning season of 1997 and 1998. Spawning occurred during August 12 to 15, 1997 and July 31 to September 4, 1998. Most of spawning occurred between the first quarter and the full moon stages in lunar calendar, showing the distinct lunar spawning rhythm. The number of eggs spawned per female ranged from 190,500 to 866,300 eggs. Fertilization and hatching rates ranged from 85.6~93.6% and 80.4~88.8%, respectively.

Fertilized eggs were relatively small (0.58 ± 0.02 mm in diameter), demersal and adhesive, and it contained numerous small oil globules. Under the condition of 25.0°C and 33.00‰, fertilized eggs was developed into two

cell-stage in 58 minutes, 32 cell stage in 2 hours 20 minutes, morula stage in 3 hours. Gastrula stage was observed in 5 hours 30 minutes, and embryo-formation stage in 6 hours. Larvae hatched in 30 hours after fertilization.

The newly-hatched larvae were 2.03 ± 0.16 mm in mean total length, and their mouth and anus were not open. In 4 days after hatching, the larvae grew to 2.6 mm in total length, and their yolk sac and oil globules were almost absorbed. Fingerling stage, in which their fin ray counts were same as in adult, was observed on 30 days after hatching, and their mean total length was 20.8 ± 0.21 mm.

3. Seedling production and culture

Under 25°C lower salinity lowered the hatching. Optimum hatching was performed 25°C and 33‰. The larvae stocked under 26~32°C resorbed almost their yolk and oil globules within 48 hours. Rotifer (*Brachionus rotundiformis*) and oysters trochophore larva were given to the newly hatched larva. Only oyster's trochophore larvae were found in the gut of fish larvae at 62 hours after hatching.

Survival rates of 3~5 days-old larvae were 20~30%; the rate of 30 days-old rabbitfish was only 2.8%. Growth of body length (BL), body height (BH) and body weight (BW) against total length (TL) showed regressional relationships as follows:

$$BL = 0.8565 TL + 0.0852 \quad (R^2 = 0.9996)$$

$$BH = 0.3207 TL - 0.5052 \quad (R^2 = 0.9641)$$

$$BW = 0.0652 TL^{2.3508} \quad (R^2 = 0.9925)$$

The larvae fed on mixed foods of oyster's trochophore and rotifer (*Brachionus rotundiformis*) as the first food were survived 3.3% for 10 days after hatching. The larvae, however, fed on rotifer and ciliata alone as first food could not survive at all.

Amount of one-time consumed rotifers by a rabbitfish larva was increased rapidly accordingly growth: 11 rotifers by a 5 days-old fish, and 167 rotifers by a 15 days-old fish.

Mass production of rabbitfish seeds was attempted in an outdoor tank (23 m³ in actual volume) for 50 days. Natural live food ecosystem composed of diatom, *Nannochloropsis oculata*, *Brachionus rotundiformis* and copepods was cultivated before the stocking of fish larvae. And oyster's trochophore larvae were fed during 2~7 days after hatching.

A total of 76,000 seeds were produced after 50 days of hatching with 12.7% of survival rate. Mean total length and mean body weight were 65.6 mm and 3.4 g, respectively.

These fingerlings (2.9 ± 0.4 cm in total length, 0.8 ± 0.29 g in body weight) were reared in an indoor tank for a year (August 31, 1997 ~ August 26, 1998). At the end of the rearing experiment the fingerlings was 24.2 ± 2.0 cm in total length and 206.0 ± 47.3 g in body weight with 48.7% of survival rate.

I. 서론

독가시치屬 어류는 전 세계적으로 약 20여종이 분포하고 있으나(Nelson, 1984), 우리나라에는 Chyung (1977)에 의하면 독가시치, *Siganus fuscus* 1종만 보고 되어 있었다. 그 후 Park et al. (1992)이 독가시치류의 일종인 *Siganus canaliculatus*의 난발생 연구를 통하여 추가 보고 되었다. 독가시치는 분류학적으로 농어목 독가시치亞目 독가시치科에 속하는 어류로서 우리나라 남부와 일본, 동중국해, 동남아시아 연안의 열대와 아열대 해역을 중심으로 폭넓게 분포하고 있다(Lam, 1974).

독가시치屬 어류 중 독가시치, *S. fuscus*와 *S. canaliculatus*는 외부 형태학적으로 아주 비슷하여 한때 동일종으로 분류하기도 하였으나(Mcvey, 1972), 분명하게 다른 종으로 밝혀졌다(Lam, 1974; 益田 等, 1984). 제주 연안에 분포하는 흰점 독가시치, *S. canaliculatus*는 외부 형태적으로는 독가시치와 아주 유사하지만, 독가시치와는 달리 체색은 회갈색 바탕에 작은 백색 반점이 몸 전체에 산재되어 있고, 가슴지느러미는 보다 크고, 두장이 가슴지느러미의 1.1~1.3배 정도이고, 아가미 뚜껑 뒤쪽 옆줄이 시작되는 곳에 0.5~1.5 cm 크기의 검은색 반점이 선명하게 나타나 있어 식별이 가능하다. 이 연구에서는 이 종의 특징으로서 흰색 반점이 있는 것을 고려하여 국명을 흰점독가시치로 명명하였다.

독가시치류는 해조류가 많은 연안 암초지역에 서식하는 종으로 자연에서는 치어 때부터 성어에 이르기까지 해조류를 주로 섭식하는 초식성이 강한 잡식성으로 알려져 있고, 이 종류의 특징중 하나인 독선(venom gland)이 등지느러미, 뒷지느러미, 가슴지느러미 등 모든 지느러미 가시에 있어서 여기에 찔리면 심한 통증을 일으킨다(Duray, 1990; Randall et al., 1990).

흰점독가시치는 우리 나라 제주도 연안에서 주로 6~10월 사이에 정치망, 자망, 낚시 등으로 어획되고 있으며, 여름철인 7~8월에 산란하는 어종이다. 이 종은 살

이 백색육으로서 탄력이 있고, 맛이 뛰어나 흰감이나 구이용으로 각광을 받는 어종이지만, 근년에는 남획 등에 의해 자원이 점차 감소하는 추세이기 때문에 종묘생산 기술개발에 의한 종묘방류를 통하여 자원 회복을 위한 노력이 절실히 필요한 시점이다. 또한 현재 우리나라 해산어류 양식산업의 경쟁력을 높이기 위해서는 넙치 및 조피볼락 위주의 양식에서 탈피하여 흰점독가시치와 같은 지역 특산종의 종묘생산 기술개발을 통한 양식 품종 다양화는 시급히 해결해야 할 당면 과제이다. 독가시치류는 지중해 연안국 및 동남아시아 등지에서는 고단백 식품으로서 오래 전부터 기호식품으로 잘 알려져 있다(Peiris and Grero, 1972). 특히 이 지역에서 독가시치류의 양식은 시장 잠재력이 높고, 먹이전환이 잘 이루어져 사육관리가 용이할 뿐만 아니라 초식성이 강하기 때문에 저급의 사료로도 성장이 잘되고, 육상수조식이나 해상 가두리에서 잘 적응하기 때문에 양식대상종으로서 많은 장점을 갖고 있다(Lam, 1974). 그러나 이러한 양식은 지금까지는 자연산 치어를 채포하여 양식용 종묘로서 이용하는 수준에 머물고 있으며, 실내수조에서 인공 종묘생산은 초기 자어기에 적당한 먹이생물을 공급하지 못해 대량으로 폐사하는 경우가 많아 전세계적으로 독가시치 속 어류는 인공 종묘생산에 의한 완전 양식은 아직까지 정착되지 못하고 있는 실정이다(Lam, 1974; Juario et al., 1985).

독가시치속 어류에 관한 국내 연구는 흰점독가시치의 산란기 생식소와 난발생(Park et al., 1992)과 태반성 성선자극호르몬(HCG) 처리에 의한 배란유도에 관한 연구(Hwang et al., 1999) 이외에는 찾아볼 수 없다.

국외의 독가시치속 어류에 관한 연구는 초기 생활사에 관하여 *S. fuscescens* (Fujita and Ueno, 1954), *S. guttatus* (Hara et al., 1986), *S. rivulatus* (Popper et al., 1973), *S. lineatus* (Bryan and Madraisau, 1977) 등에서 보고되고 있다. 그러나 *S. canaliculatus*에 대해서는 난발생에 관한 단편적인 보고가 있을 뿐(Soh and Lam, 1973), 초기 생활사 전반에 관해서는 아직까지 연구가 이루어지지 않고 있다.

생식주기와 산란에 관한 연구는 일본의 오키나와에서 *S. canaliculatus*를 대상으로 생식주기의 주년변화를 바탕으로 산란기를 구명하였으며(Hoque, 1994), *S. guttatus*에서는 정소의 조직학적 관찰과 생식소중량지수(GSI)의 월변화를 통해 생식주기를 구명하였다(Rahman, 1998). 산란에 관해서는 *S. guttatus*의 주년 산란에 관한 연구가 있다(Hara et al., 1986). 또한 독가시치 속의 대부분의 어류들은 달주기에 따라 산란이 이루어지는 이른바 달 주기성(lunar periodicity)을 갖는 것으로 알려져 왔으며, 이에 관한 연구는 *S. canaliculatus* (Manacop, 1937), *S. vermiculatus* (Popper and Gundermann, 1976; Popper et al., 1976), *S. argenteus* (Burgan and Zselezky, 1979) 등에서 보고되었다.

독가시치류는 침성 점착란의 알 특성을 갖는 종으로서 효율적인 알 관리와 필요한 시기에 종묘생산을 하기 위해서는 호르몬 처리에 의한 배란유도가 필요하다. 이러한 배란유도에 관해서는 배란 촉진 호르몬인 태반성 성선자극호르몬(HCG) 및 성선자극호르몬-방출호르몬(LHRH 또는 LHRH-a)을 사용하여 배란유도가 가능하다고 보고하였다(Ayson, 1989; Ayson, 1991; Garcia, 1991).

독가시치과 어류는 세계 각지에 폭넓게 분포하고 있으며, 일부 종은 시장 수요가 매우 높기 때문에 세계 각지에서 종묘생산에 의한 양식이 시도되고 있다(Juario et al., 1985). 특히, 독가시치 속의 *S. argenteus*, *S. canaliculatus*, *S. guttatus*는 환경요인에 대한 저항력이 강하고, 성장이 빠르기 때문에 양식하기에는 아주 적합한 종으로 인식되어 왔다. 이러한 종을 중심으로 완전양식을 위한 독가시치속 어류의 종묘생산 시도는 *S. canaliculatus*를 대상으로 Manacop (1937)에 의해 최초로 보고되었으나, 대부분의 연구는 초기 발생단계에서 사망하였으며(Popper et al., 1973; Soh and Lam, 1973; Avila, 1980), 또 다른 연구에서는 변태기 이후까지 1% 미만의 낮은 생존율을 보고하였다(May et al., 1974; Popper and Gundermann, 1976). 치어기까지 생존한 경우는 *S. vermiculatus* (Popper et al., 1976), *S. lineatus* (Bryan and Madraisau, 1977), *S. fuscesens* (Shinhata and Shima, 1980), *S.*

guttatus (Juario et al., 1985; Hara et al., 1986)에서 보고되었다.

이상과 같이 독가시치속 어류의 종묘생산 과정에서 낮은 생존율을 보이는 것은 최초 개구시의 입 크기가 소형이기 때문에 내부적 영양 소비단계에서 외부로부터 최초 섭식하는데 시간이 상대적으로 짧아, 소형의 먹이생물을 공급해야 하지만 현재까지 적절한 크기의 먹이생물이 개발되어 있지 않기 때문에 어려움이 있다 (Duray and Kohno, 1988). 따라서 초기 사육 과정 중에서 부화 1주일 사이에 대부분의 자어가 먹이를 섭취하지 못하고 사망하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 자어사육에 있어 위험기간 동안 생존율을 개선시키기 위해 첫 먹이로서 소형의 rotifer를 선별하여 공급하거나(Duray, 1986), 굴 유생을 초기 먹이로서 공급 (Juario et al., 1985) 하는 등의 노력에도 불구하고 가시적인 성과는 거두지 못하고 있는 실정이다. 이 연구에서는 초기 사육기간 중에 야외에서 물 만들기를 실시하여 다양한 동식물 플랑크톤을 배양한 상태에서 바윗굴 유생과 초소형 rotifer를 혼합 공급하여 자어가 먹이를 선택적으로 섭식할 수 있도록 하여, 초기 생존율의 향상을 목적으로 실험을 실시하였다. 이러한 시도는 일부 다른 어종에서는 적용되고 있지만, 아직까지 독가시치속 어류의 종묘생산에서는 시도한 바가 없다.

이 연구는 제주도 연안에 주로 분포하는 연안 정착성 고급 어종인 흰점독가시치의 양식 기술개발을 목적으로 자연산 어미의 생식주기를 조사하고, 자연산 어미의 실내에서의 사육실험을 통해 생태를 파악하여 자연산란과 호르몬 처리에 의한 인위적 산란유도를 실시하였고, 이에 따른 난질과 초기생활사를 구명하였다. 또한 이러한 기초적인 연구를 바탕으로 하여 대량 종묘생산에 성공함으로써 아직까지 전세계적으로 성공한 바 없는 소형 자어를 경유하는 독가시치류의 종묘생산 기술의 기반을 확립하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

생식주기 생식세포 형성과정을 조사하기 위하여 1996년 1월부터 12월 까지 매달 제주도 남제주군 위미 연안에서 주로 정치망에 의해 어획한 것을 사용하였다(Fig. 1). 실험어는 전장 26.0~30.8 cm, 체중 232.9~478.2 g 범위로서 매월 30~40마리씩 총 461마리를 조사하였다.

어미의 사육상태 산란용 친어의 확보와 생태조사를 위한 실험어는 1995년 11월 남제주군 위미 연안 정치망에서 구입한 평균전장 24.3 ± 3.7 cm, 평균체중 231.3 ± 107.1 g 되는 145마리를 남제주수산종묘시험장 실내 콘크리트 수조(유효수량 80 m³)에 옮겨 수용한 후 1년간 사육하였다.

산란유도 태반성 성선자극호르몬(human chorionic gonadotropin : HCG) 처리에 의한 배란유도는 자연산 암컷 18마리(전장 26.9~33.3 cm, 체중 324~678 g)와 인공산 2년어 암컷 6마리(전장 27.6~30.8 cm, 체중 324~385 g)를 실내 원형 PP 수조(유효수량 3.5 m³)에 수용하여 조사하였다. 자연산란 실험은 1997년과 1998년에 자연산 어미를 구입하여 외관상 복부가 팽만한 것을 골라 실내 원형 PP 수조에서 암수 각각 1 : 3의 비율로 수용하여 개체당 자연산란을 관찰하였다.

종묘생산 먹이계열별 실험은 실내 원형 PP 수조(유효수량 170 ℓ) 6 개에 부화 직후 자어를 각각 2,000마리씩 수용하여 실시하였다. 자치어의 성장과 생존을 실험은 원형 PP 수조(3.5 m³) 2개에 부화자어를 각각 30,000 마리씩 수용하여 조사하였다. 대량 종묘생산에 사용한 산란용 어미는 남제주군 대정읍 마라도 해안에서 구입한 암컷 1마리(전장 36.4 cm, 체중 913 g)에 수컷 3마리(전장 27.5~31.6 cm, 체중 256~480 g)를 수조에 수용한 후 자연산란을 유도하였다(Fig. 1).

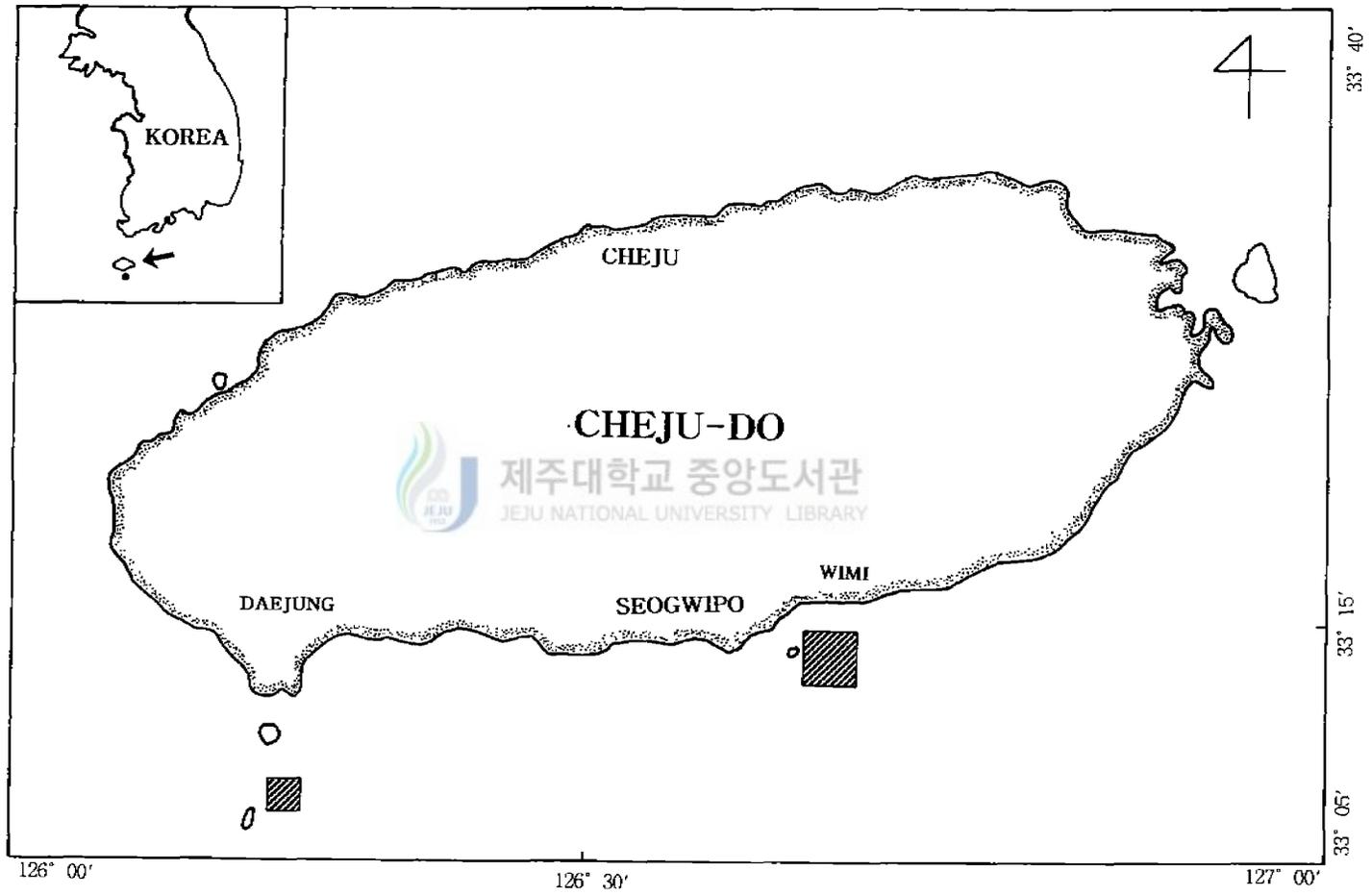


Fig. 1. Location of the sampling site (shaded area) of *Siganus canaliculatus* in the southern part of the Cheju, Korea.

양성 자치어의 성장조사를 위하여 사용한 실험어는 인공 종묘생산한 평균 전장 2.88 ± 0.39 cm, 체중 0.78 ± 0.21 g인 치어 150마리를 이용하여 1997년 8월 31일부터 1998년 8월 26일 까지 약 1년간 사육하였다.

2. 방법

1) 생식주기

생식주기는 실험어의 크기, 생식소 및 간중량지수에 의해 파악하였다. 매월 채집된 실험어의 전장과 체장은 0.1 cm까지 측정하였고, 체중, 생식소중량, 간중량 및 내장중량은 습중량으로 0.01 g까지 측정하였다. 생식소중량지수(gonadosomatic index : GSI = 생식소중량 \times 100 / 어체중)와 간중량지수(hepatosomatic index : HSI = 간중량 \times 100 / 어체중)를 측정했다.

생식소는 Bouin's solution에 고정하여 조직학적 관찰을 실시하였다. 조직은 파라핀 절편법에 의해 5~7 μ m으로 연속 절편하여 조직표본을 만들었고, Mayer's haematoxylin-eosin 이중 염색하였다. 생식주기에 따른 난소내 난모세포의 발달단계는 광학현미경하에서 관찰하였다. 정자형성과정에 따른 월별 정소의 발달 단계는 현미경 모니터 시스템(Zeiss, Axiolab) 하에서 조직절편을 3반복 검경하여 구분하였다.

포란수 계산은 Bagenal and Braum (1978)의 습중량법을 사용하였다.

2) 산란 유도 및 초기 생활사

(1) 어미의 사육 상태

흰점독가시치는 자연에서 초식성이 강한 잡식성 어류이기 때문에 최초 먹이불임을 목적으로 어미를 수조에 수용한 10일 동안 갈파래, 우뚝가사리, 감태 등 해조류를 1일 2~3 kg을 공급하였으며, 1개월 동안 담수어용 시판 건조사료(천하제일)를 1일 2~3회 공급하였다. 먹이 불임 이후에는 넙치 육성용 분말사료와 냉동 전갱이를 4 : 6 비율로 혼합한 moist pellet을 만들

어 어체중 1~2%를 기준으로 매일 오전중 1회 공급하였고, 보조 먹이로서
넙치용 건조사료(천하제일사료)를 1일 2~3회 보조 먹이로서 공급하였다.
사육기간 중의 어미의 성장도는 3~4개월 간격으로 20마리를 무작위 추출
하여 MS-222 (Sigma, USA) 100 ppm으로 마취시킨 후 전장, 체장, 체고,
체중 등을 측정하였다. 사육수는 자연해수를 1일 6~7회전으로 유수시켰으
며, 사육기간 중 수온과 비중은 오전 10시에 측정하였다.

(2) HCG 처리에 의한 배란유도

실험어는 Portable reader (DESTRON/IDI Ltd.)를 이용하여 radio
frequency identification tag (ID tag)를 등근육에 삽입한 후 수조에 수용하
였으며, 배란 개체는 ID tag의 고유번호를 확인하여 추적하였다.

배란유도를 위하여 HCG (Sigma Co., USA)를 복강에 주사하였으며, 그
처리량은 자연산에서는 어체중 kg당 500, 1,000, 1,500 IU를, 인공산에서는
1,000 IU 였고, 대조구는 각각 HCG의 용매인 생리식염수 0.5 ml 만을 주
사하였다. 처리시기는 자연에서 흰점독가시치 산란기인 7~8월과 비슷한
시기인 7월 중순부터 7일 간격으로 자연산은 1~2회, 인공산은 1999년 7월
17일부터 8월 6일까지 7일 간격으로 2~3회 주사하였다(Table 1, 2). 호르
몬주사 후 12시간마다 복부를 가볍게 눌러 투명한 알(난경 580 μ m 내외)의
방출유무로 배란상태를 확인하였고, 호르몬 효과는 HCG 주사 후 7일까지
배란이 확인된 경우에 한하여 결정하였다.

산란된 알은 건식법으로 수정시켰으며, 수정된 알은 직경 10 cm petri
dish에 100~200개를 수용하여 여과해수를 채운 뒤 해부현미경과 만능투영
기하에서 수정률, 배발생률 등을 측정하였다. 부화율은 2l 비이커에 100~
150개의 알을 수용하여 설정 온도 $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 의 incubator에서 부화시까지
관찰하여 조사하였다. 난경은 만능투영기에서 100개씩 측정하였으며, 각 개

Table 1. HCG treatments for ovulation induction in the wild female of *Siganus canaliculatus*

Fish No.	Total length (cm)	Body weight (g)	Designed dosage of HCG*	Actual treatments of HCG**	Duration of experiment
W I -1	33.3	678	500 IU	680 IU by 2 doses	July 14~27, 1998
2	32.3	516		520 IU by 2 doses	
3	28.0	348		350 IU by 2 doses	
4	31.2	535		540 IU by 2 doses	
5	26.9	322	1,000 IU	640 IU by 2 doses	
6	32.5	625		1,200 IU by 2 doses	
7	31.0	434		870 IU by 2 doses	
8	28.9	378		760 IU by 2 doses	
9	32.9	665	1,500 IU	2,000 IU by 2 doses	
10	32.0	474		1,400 IU by 2 doses	
11	32.5	484		1,500 IU by 2 doses	
12	26.7	314		940 IU by 2 doses	
Control	28.8	402			
W II -1	27.6	331	500 IU	170 IU by 1 dose	July 27~Aug. 2, 1998
2	30.8	377		190 IU by 1 dose	
3	29.7	332	1,000 IU	330 IU by 1 dose	
4	28.5	324		320 IU by 1 dose	
5	29.5	385	1,500 IU	580 IU by 1 dose	
6	28.7	326		490 IU by 1 dose	
Control	27.0	335			

* Designed dosage of HCG per kg of body weight.

** Total concentration of HCG injected per kg of body weight and times of treatments.

Table 2. HCG treatments for ovulation induction in the cultured female of *S. canaliculatus*

Fish No.	Total length (cm)	Body weight (g)	Designed dosage of HCG*	Actual treatments of HCG**	Duration of experiment
C I -1	29.0	457	1,000 IU	460 IU by 2 doses	July 17~Aug. 6, 1999
2	28.8	381	1,000 IU	380 IU by 3 doses	
3	27.5	381	1,000 IU	380 IU by 3 doses	
4	26.5	361	1,000 IU	360 IU by 2 doses	
5	27.5	368	1,000 IU	370 IU by 3 doses	
6	27.8	404	1,000 IU	400 IU by 3 doses	
Control	28.9	401			

* Designed dosage of HCG per kg of body weight.

** Total concentration of HCG injected per kg of body weight and times of treatments.

체별 채란수는 복부압박에 의해 착출된 알 중 0.1 g을 계수하여 전체 알의 무게로 환산하였다.

GSI는 생식소중량×100/체중으로 산출하였고, 위생식소중량지수(pseudo-gonadosomatic index : Pseudo-GSI)는 Park et al. (1998)의 방법에 따라 다음과 같이 구하였다.

$$\text{Pseudo-GSI} = (B / A) \times 100$$

A : weight of fish before injection

B : weight of stripped eggs

(3) 실내에서의 자연산란

실험기간 중 먹이는 넙치용 건조사료를 1일 2~3회 공급하였고, 수조위에는 검정색 차광망을 1/3 정도 덮어서 어미가 안정되도록 하였으며, 수조 바닥에는 어미의 출입이 용이하도록 만든 PVC 파이프(dia. 200 mm, 60 cm)를 각각 3개씩 넣어 은신처를 마련해 주었다. 사육수는 자연해수를 1일 7~8회 환수되도록 주수하여 안정된 수질환경을 유지하였다.

산란의 유무는 매일 4시간 간격으로 관찰하였다. 채란판은 투명 유리판(30×30 cm), PVC 평판(30×30 cm), 차광망(30×30 cm), 전복 종묘생산용 파판(30×30 cm) 등을 사용하였으며, 부착된 알을 계수하여 채란 효과를 조사하였다. 부착란의 계수는 각 채란판의 일정 부분을 선정하여 계수한 다음 환산하여 총 산란량을 구하였다. 난경 및 유구경은 300개의 알을 채집하여 만능투영기로 측정하였다.

(4) 난발생과 부화

발생 과정 인공채란한 수정란은 nylon meshes(망목 125 μm)를 사용하여 세란한 후, 250 ℓ 원형 PP 수조에 수용하여 강한 포기를 실시하면서 petridish와 hole slide glass에 골고루 부착시켰다. 각각 부착된 알은 2 ℓ

비이커 3개에 수용하여 광학현미경(Zeiss, Axiolab)과 TV 영상장치를 사용하여 알의 발생과정을 관찰 및 스케치하였다. 알은 incubator (MIR-150, Sanyo) 안에서 지수식으로 관리하였으며, 환수는 12시간마다 70% 정도 새로운 여과수로 교환하였고, 포기는 실시하지 않았다. 난발생 과정에서 수온은 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 설정하였다. 수정 후 발생 단계별 소요 시간은 각 발생 단계가 50% 이루어졌을 때를 기준으로 하였고, 3개 수조의 결과를 평균으로 하였다.

발생속도와 부화 수온별 난발생 속도를 구하기 위하여 실험구는 20, 24, 28 및 32°C 구로 설정된 multi-chamber incubator (Hanback Co., Korea)를 이용하였다. 수정란은 각 실험구당 2 l 비이커를 3개씩 설치하고 비이커당 약 500개씩 수용하여 관찰하였다.

수온에 따른 발생속도는 8세포기, 상실기, Kupffer씨포 출현기 및 부화자어기를 기준으로 발생 단계별 소요 시간에 따라 비교하였다. 각 단계별 발생은 수정 후 30분마다 광학현미경하에서 관찰하였다. 부화율은 각 실험구의 총 부화자어와 사란을 전부 계수하였고, 동시에 기형 개체의 출현율을 조사하였다. 기형률은 부화직후 자어중 사망개체, 척추 만곡 개체, 난황과 유구가 결핍된 개체 등 비정상적인 개체의 비율로 나타냈다.

(5) 자치어의 형태발달과 성장단계

성숙한 어미를 선별하여 인공채란에 의해 건식법으로 수정시켰으며, 수정란은 유리판과 전복 종묘생산용 파판 등에 부착시켜 원형 PP 수조(유효수량 3.5 m³)에 수용하였다. 실험기간 동안 1~3일 간격으로 10마리 내외의 실험어를 샘플하여 5% 중성포르말린에 고정하여 자치어의 외부형태를 측정, 관찰하였다.

3) 종묘생산

(1) 수정란 및 자어의 염분내성

수정란의 염분내성 실험에서 염분농도별 부화율과 부화시간을 조사하기 위하여 10, 15, 20, 25, 30, 33, 35 및 37%의 8개 시험구(3반복)로 설정하였다. 이때 염분농도는 자연해수를 염분측정기(YSI-30)로 측정한 후 담수와 천일염을 첨가하여 각 실험해수를 제조하였다. 부화율은 자연산란된 수정란과 인공 채란된 수정란을 대상으로 2ℓ 비이커에 약 200개씩 수용한 후 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 설정된 incubator 내에서 관리하면서 조사하였다. 인공채란은 HCG를 1,000 IU/kg 처리하여 배란을 유도하였다. 부화율과 기형률은 총 부화개체에서 정상개체와 기형개체를 파악하여 조사하였다.

난황 용적 및 자어의 전장 측정은 자어를 샘플하여 얼음과 MS-222로 마취시킨 다음 1 μm 까지 측정하였다. 난황 용적은 Blaxter and Hempel (1963)의 방법에 따라 난황용적 = $\pi / 6 \times I h^2$ (I : 난황장경, h : 난황단경)으로 계산하였다.

염분농도별 부화자어의 생존율을 조사하기 위하여, 15, 20, 25, 30, 33, 35 및 37%의 7개 시험구(3반복)를 설정하였고, 각 시험구당 수정란을 200개/ℓ를 수용하여 부화시켰다. 부화 후 부화되지 않은 알은 피펫으로 제거했으며, 동일 염분농도로 제조된 사육수를 매일 50% 정도 교환하여 주었다. 먹이는 공급하지 않았으며, 자어의 생존율은 실험 기간동안 2시간 간격으로 사망 개체를 조사하여 구하였다.

(2) 최초 먹이 공급 시기의 결정

난황흡수 및 개구 시간 자어의 난황 흡수율 및 개구 시간은 수온을 $23 \sim 32^\circ\text{C}$ 에서 3°C 간격으로 4개의 실험구를 설정하여 조사하였다. 실험은 multi-chamber incubator 및 water bath를 이용하였다. 자어는 각 실험구

당 2 l 비이커를 3개씩 설치하여 각각 200마리씩 수용하였다. 사육수는 12시간 간격으로 동일 수온의 해수로 50%씩 환수하였으며, 사육기간 동안 먹이는 공급하지 않았다. 난황, 유구 및 부화자어 측정은 12시간 간격으로 10마리의 자어를 채집하여 MS-222로 마취시킨 후, 1 μm 단위까지 측정하였다. 유구의 용적은 Blaxter and Hempel (1963)의 방법에 따라 유구용적 = $\pi / 6 \times d^3$ (d : 유구경)으로 계산하였다.

자어의 개구시간은 난황 흡수율 조사와 동일한 방법으로 조사하였고, 개구시간 판정은 자어중 약 90% 이상이 개구된 시점을 기준으로 하였다.

전장과 입 크기 변화 및 최초 먹이섭취 사육 경과 시간에 따른 자어의 입 크기 및 첫 먹이 섭취시기는 실내 콘크리트수조(3.0×3.0×0.7 m, 유효수량 7 m³) 2개에 부화 자어를 약 3만 마리씩 수용하여 조사하였다. 먹이는 부화 2일째부터 실험 종료시까지 바윗굴, *Crassostrea nippona*의 trochophore 유생을 공급하였고, 이와 함께 rotifer, *Brachionus rotundiformis*를 15개체/ml 내외의 밀도로 공급하였다. 한편, 먹이를 공급하지 않은 상태에서 자어의 생존율은 별도로 2개의 수조를 이용하여 조사하였다. 실험기간 동안 사육수는 환수를 하지 않고 지수상태를 유지하였으며, 수온은 24.8~26.5℃, 염분농도는 32.4~33.3‰ 범위였다.

자어의 입 크기(d) 변화는 자어의 상악장 크기(UJL, upper jaw length)를 기준으로 한 Shirota (1970)의 방법에 따라 $d = \sqrt{2} \times \text{UJL}$ 의 식으로 구하였다. 자어의 전장 및 상악장 크기는 부화 후 12시간 간격으로 10마리 내외의 자어를 채집하여 MS-222에 마취시킨 후, 1 μm 단위까지 측정하였다. 자어의 첫 먹이섭취 시기는 부화 후 6시간 간격으로 자어를 10마리씩 채집하여 광학현미경하에서 소화관내의 먹이생물의 섭취 유무를 관찰하였다.

(3) 자치어의 성장과 생존율

기아시 생존에 미치는 수온의 영향 기아시 생존율 실험은 수온 23, 26, 29 및 32°C 4개의 실험구로 설정하였으며, multi-chamber incubator와 water-bath를 이용하여 기아시의 생존율을 조사하였다. 자어는 각 실험구당 2ℓ 비이커를 3개씩 설치하여, 각각 200마리씩 수용하여 전 개체가 사망할 때까지 사망 개체수를 계수한 후 이를 평균하였다. 12시간 간격으로 동일 수온의 해수로 50%씩 환수하여 수질 환경을 유지하였다. 생존율은 수조 저면에 사망한 개체를 사이폰으로 수거후 계수하여 조사하였다. 자어의 절식 생존지수(SAI, survival activity index)는 다음의 식으로 구했다.

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

N: 자어 수
h_i: i 일째까지의 누적 사망 자어 수
k: 자어가 모두 사망할 때까지의 일수

먹이 계열에 따른 초기 생존 사육수는 부화 후 4일까지는 지수상태를 유지하였고, 5일부터는 분당 100~200 ml씩 유수하였다. 실험구는 Fig. 2와 같이 3개 먹이 계열로 나누어서 비교하였다. A 실험구는 rotifer, *B. plicatilis* (부화 2~10일) + *Nannochloropsis oculata* (부화 2~10일), B 실험구는 참굴 trochophore (부화 1일~5일) + *B. rotundiformis* (부화 2일~10일) + *N. oculata* (부화 2~10일), C 실험구는 ciliata (부화 1일~5일) + *B. rotundiformis* (부화 2일~10일)를 공급하였다. Rotifer의 공급량은 모든 실험구에서 ml당 10~15개체를 유지되게 공급하였고, 참굴의 trochophore 유생은 ml당 15~20개체, ciliata는 ml당 10~20개체를 유지하였다. 또한 *N. oculata*는 10~20만 cells/ml을 유지시켰다.

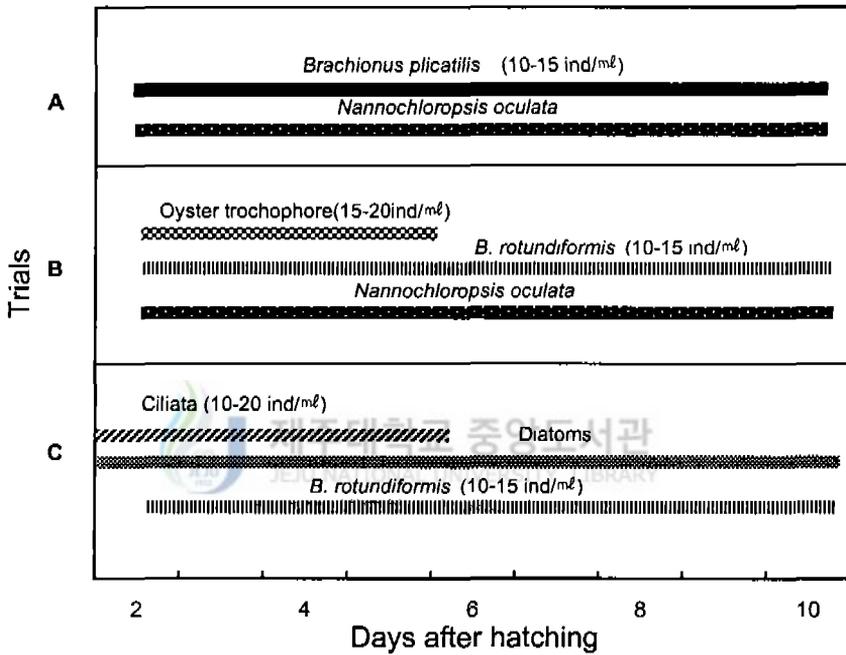


Fig. 2. Three kinds of food regimes used for rearing trial of *S. canaliculatus* larvae.

성장과 생존율 자어 사육 20일전부터 수조내에 강한 aeration을 한 상태에서 1일 3~5회전 되게 환수를 시키면서 규조류를 배양시켜 물만들기를 하였다. 사육 기간중에 환수율은 사육 초기(부화 후 7일)에는 지수 상태를 유지하였으나, 그 이후부터는 1일 0.3~0.5회전 내외로 환수를 실시하였으며, 점차 배합사료 공급량이 많아지면서 환수량도 증가시켜 주었다.

실험 기간 동안 공급된 먹이 종류 및 공급량은 Fig. 3에 나타내었다.

참굴의 trochophore 유생(56~62 μm)은 부화 후 2일째부터 7일째까지 mL 당 10개체 내외를 지속 공급하였다. Rotifer는 부화 후 2일부터 30일까지 공급하였으며, 부화 후 20일까지는 *B. rotundiformis* (120~180 μm)를 공급하였고, 부화 후 15일부터 30일까지는 *B. plicatilis* (230~310 μm)를 공급하였다. 공급 횟수는 1일 1~3회 공급하였으며, 공급 밀도는 사육수 mL 당 10~25개체를 유지하였다. *Artemia nauplii* 공급은 부화 후 25일부터 35일까지 공급하였다. 배합사료는 부화 후 17일부터 넘치용 초기 사료(Kyowa Co. Ltd., Japan)를 rotifer와 혼용하여 소량 공급하기 시작하여, 1일 4~5회씩 공급하였고, 성장과 더불어 점차 입자의 크기를 조절하였다. 실험 시작부터 종료시까지 1~3일 간격으로 10마리 내외의 자어를 무작위 샘플하여 얼음과 MS-222에 마취한 후 전장, 체장 및 체고는 10 μm 단위까지 측정하였고, 체중은 0.1 mg까지 측정하였다.

(4) Rotifer와 *Artemia nauplii* 섭식

Rotifer 섭식량 Rotifer의 일회 섭식량 실험은 대량 종묘생산 실험에서와 동일한 수조에서 부화 후 13일까지 실시하였고, 그 이후부터는 실내 콘크리트 수조(3×3×1 m, 유효수량 7 m^3)에서 실시하였다.

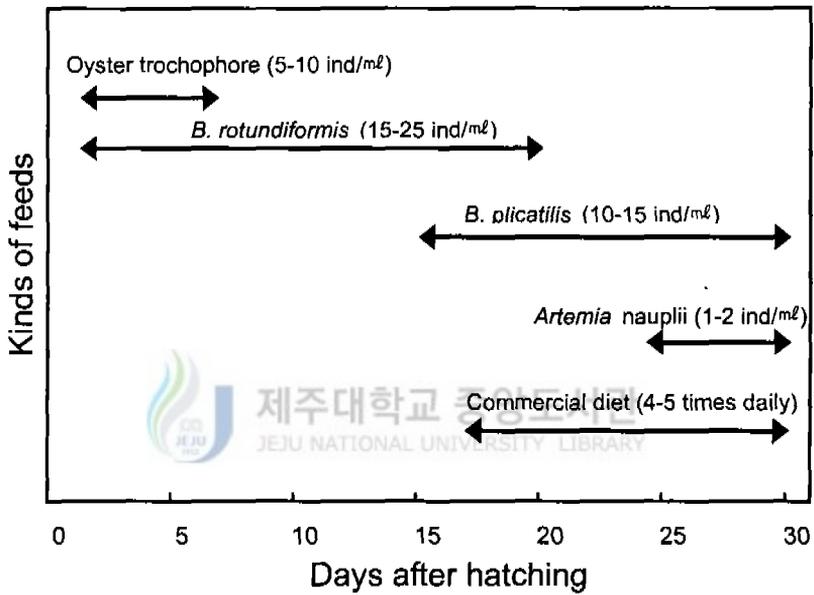


Fig. 3. Feeding regime for rearing trial of *S. canaliculatus* larva and fingerlings.

Rotifer의 공급은 매일 오전 6시에 시작하여, 그 후 오전 11시와 오후 4시에 사육수조 내에 rotifer 밀도를 측정하고, 부족 분을 보충해 주었다. 실험기간 동안 사육수조 내 rotifer 밀도는 ml 당 10~25개체를 유지하였다. 일회 섭식량 조사는 매일 실시하였으며, rotifer를 공급한 후 2시간 경과된 오전 8시에 각 수조마다 자어를 20마리씩 무작위 채집하였다. 채집된 자어는 MS-222에 마취시킨 후 5% 중성포르말린에 고정하여 전장 및 체장을 측정하였고, 실체현미경하에서 해부침을 이용해 소화관을 해부하여 rotifer 수를 계수하였다.

Artemia nauplii 섭식량 *Artemia nauplii* 섭식량 조사는 부화 후 12일부터 26일째 자어를 대상으로 2~3일 간격으로 조사하였다. 실험은 2000 ml 플라스틱 사육조에 자어를 1마리씩 수용한 후, 5분 동안 자어의 활력을 관찰하여 스트레스에 의한 이상 유영을 보인 자어는 다른 실험어로 대체하였다. 또한 실험용 자어의 수조는 야간에 환수량을 증가시켜 사육 수조내에 *Artemia nauplii*가 거의 남아있지 않은 상태에서 자어를 샘플하여 실험에 이용하였다. *Artemia nauplii*는 각각 2,000, 3,000, 4,000 및 5,000개체씩 공급하였고, 12시간 후에 실험어를 분리한 다음 수조 내에 남아있는 *Artemia nauplii*를 계수하여 각 실험구별 평균 섭식량을 구하였다. 모든 실험은 3회 반복으로 실시하였다.

(5) 대량 종묘 생산

사육 관리 채란을 위해서 전복 종묘생산용 파판 15 set와 사각 투명 유리판(30×30 cm) 10개를 수조 저면에 침설하였다. 어미 수용 후 4일만에 자연 산란이 이루어 졌으며, 산란 즉시 어미를 사육 수조 밖으로 분리하였으며, 채란판은 부화가 완료된 시점에서 꺼냈다.

자어 사육은 사방이 개방되어 있고, 지붕만 비닐 하우스 형태로 시설되어 있는 야외 콘크리트 수조(5×5×1 m, 유효 수량 23 m³)에서 부화 15일 까지 사육하였으며, 그 이후부터는 실내 콘크리트 수조 2개(유효 수량 7 m³, 10 m³)로 옮겨 사육 실험을 계속하였다. 초기 자어기 동안 사육 실험에 사용한 수조는 어미를 수용하기 1주일 전부터 1일 1~2회전 되게 유수를 시키면서 수조내에 규조류 및 기타 부착성 조류가 번식하도록 인위적인 물 만들기를 하였고, 그 이후부터는 *B. rotundiformis*를 ml당 20~40개체 유지하면서 배양하였다. 자어 사육기간 중 사육 해수는 부화 5일까지 지수상태를 유지하면서 *N. oculata*만을 공급하였으며, 6일부터는 모래 여과를 한 사육수를 유수식으로 공급하였고, 유수량은 1일 0.1~3회전으로 실험어의 성장과 더불어 사료 공급량의 증가에 따라 점차 증가시켰다.

먹이생물 Rotifer의 먹이에 사용하는 클로렐라 배양은 야외 콘크리트 수조(5×5×1 m) 3개를 이용하였으며, 사육수는 1차로 모래 고압여과기로 여과된 해수를 3 μ m cartridge filter로 2차 여과한 후 사용했다. 클로렐라의 접종은 400~600만 cell/ml 농도로 하였다.

실험에 사용한 rotifer는 소형종인 태국산 rotifer, *B. rotundiformis*와 대형종인 rotifer, *B. plicatilis*를 사용하였고, rotifer 배양은 사각 콘크리트 수조(5×5×1 m)에서 2종을 격리시켰으며, 사육 수온은 보일러를 이용하여 전자의 경우 28℃내외를 유지하였고, 후자는 25℃내외를 유지시키면서 배양하였다. Rotifer 배양을 위한 먹이는 해산 클로렐라를 단독으로 사용하였으며, 공급 밀도는 rotifer 배양조에 500~700만 cell/ml을 유지하였다. Rotifer의 2차 영양강화를 목적으로 해산 농축클로렐라를 rotifer 배양수 1톤당 100 ml를 기준으로 1일 1회 공급하였다.

바윗굴은 1999년 8월 5일 경남 거제도에서 자연산(평균 각고 12~25 cm,

각장 8~13 cm)을 해너로부터 50 kg을 구입하여 남제주수산종묘시험장으로 옮겨 일부는 냉장고(3℃ 내외)에 보관하였고, 나머지는 2톤 FRP 수조에 자연해수를 1일 7~8회전 유수 시키면서 관리하였다. 산란은 오후 8시경에 생식소를 절개하여 현미경상에서 암수를 확인한 다음, 인공 수정을 시켜 약 10시간만인 다음날 오전 6시경에 부화된 trochophore 유생을 자어 먹이로서 공급하였다.

먹이 공급 공급된 먹이의 종류와 양은 Fig. 4에 나타내었다. 바닷굴의 trochophore 유생은 부화 2일째부터 7일까지 공급하였으며, 공급량은 15~20개체/ml를 유지하였다. Rotifer는 부화 후 1일부터 23일까지 공급하였으며, 부화 후 20일까지는 소형종인 *B. rotundiformis* (120~180 μm)를 공급하였고, 부화 후 13일부터 23일까지는 대형종인 *B. plicatilis* (230~310 μm)를 공급하였다. 공급밀도는 실험어의 크기와 관계없이 사육수 ml당 10~25개체를 유지하였다. 또한 *N. oculata*를 부화 후 2주일 동안 40~60만 cell/ml로 사육 수조에 첨가시켜 주었다. *Artemia nauplii*의 공급은 부화 13일부터 23일까지 오전 10시와 오후 5시를 기준으로 1일 2회에 걸쳐 공급하였다. 배합사료는 rotifer와 혼용하여 부화 후 9일부터 공급하기 시작하였다. 새우용 초기 미립자사료(Lasy 2-ZM, 28 μm 이하)는 부화 후 9일부터 먹이 불임용 사료로서 1일 2~3회 소량씩 공급하였으며, 부화 후 12일부터는 넙치용 초기 배합사료(Otohime, Nishin Co. Ltd., Japan)를 자치어의 성장과 함께 입자의 크기를 조절하면서 1일 4~10회 공급하였다.

4) 양성

사육 수조는 원형 폴리프로필렌 수조(유효수량 3.5 m³) 2개를 이용하였으며, 사육수는 자연 해수를 1일 0.5~6.0 회전으로 유수시켰으며, 수조마다

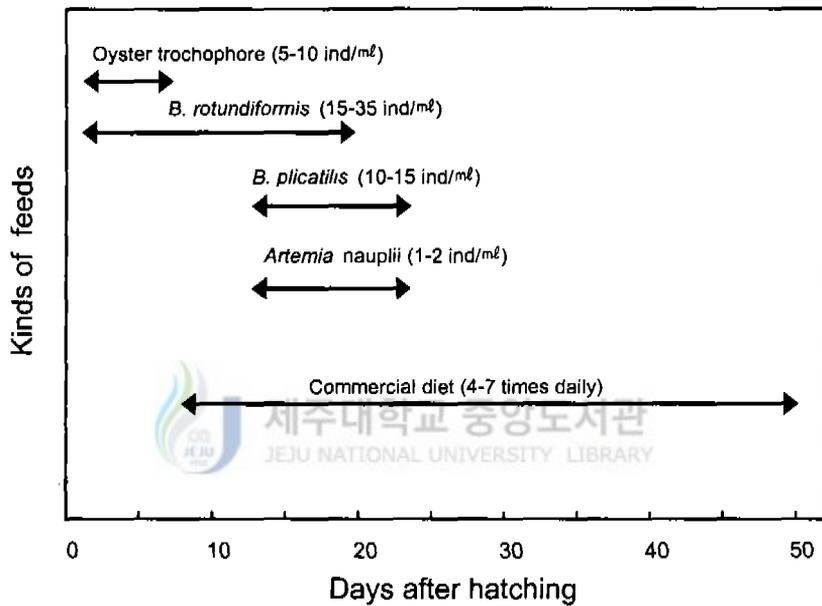


Fig. 4. Feeding regime for the mass seed production trial of *S. canaliculatus*.

에어스톤을 설치하여 산소를 보충하였다. 실험 기간 동안 먹이공급은 초기 사육(63일간)에는 넙치용 초기 배합사료(Otohime, Nishin Co. Ltd., Japan)를 성장에 따라 크기를 조절하면서 공급하였으며, 전장이 12.2 cm로 성장한 12월부터 실험 종료시까지 넙치용 pellet 사료(천하제일)를 크기에 맞게 조절하여 공급했다. 사료는 1일 3~4회를 나누어 충분하게 공급했다. 성장도 조사는 매월 1회 실시하였고, 실험어는 매월 15~20마리씩 무작위 채집하여 MS-222 100 ppm에 마취시켜 전장 및 체중을 측정하였다. 실험기간 동안 수온과 염분농도는 매일 오전 10시에 측정하였다.

5) 통계처리

실험 결과는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성($P < 0.05$)을 검정하였다.



III. 결 과

1. 생식주기

1) 생식소의 구조와 형태

실험에 사용한 흰점독가시치 어미는 Table 3과 같다. 이중 암컷은 196마리로 전장 29.3 ± 3.2 cm, 체중 354.2 ± 115.3 g이었으며, 수컷은 265마리로 전장 28.6 ± 2.6 cm, 체중은 319.8 ± 83.3 g으로 암컷이 수컷보다 약간 컸다.

전장에 대한 어체 각 부위의 관계는 Fig. 5~7과 같다. 전장(TL)에 대한 체장(BL)의 관계는 $BL = 0.7601 TL + 2.1146$ ($R^2 = 0.9308$), 전장(TL)에 대한 체고(BH)의 관계는 $BH = 0.2852 TL + 0.7000$ ($R^2 = 0.7419$), 전장(TL)에 대한 체중(BW)의 관계는 $BW = 0.0134 TL^{2.9992}$ ($R^2 = 0.9072$) 이었다.

흰점독가시치의 난소는 한 쌍으로 복강 뒤쪽에 위치한다. 난소는 좌우 분리된 한쌍의 비대칭 형태의 낭상형으로 완숙된 난소내부는 난소막에서 기원한 결합조직으로 구성된 많은 주름진 난소소낭으로 구성되어 있다. 또한 난소는 발달단계에 따라 불투명한 백색(미성숙 단계), 연분홍색(성숙 단계) 및 옅은 황금색(완숙 단계)의 다양한 색상을 띤다.

정소는 길게 연장된 한 쌍의 엽상형을 이루고 복강의 뒤쪽에 위치한다. 정소내부는 정소막 기부에서 정소소엽들이 발달하고 이들 소엽들은 수정관(sperm duct)으로 연결된다. 정소 역시 발달단계에 따라 불투명한 백색(미성숙 단계), 연분홍을 띤 백색(성숙 단계) 및 유백색(완숙 단계)의 다양한 색상을 띤다.

2) GSI와 HSI의 월변화

생식주기를 조사한 1996년 자연해수의 수온과 광주기의 월 변화는 Fig. 8과 같다. 수온은 1월에 12.8°C 로 연중 최저치 였으며, 8월에 26.3°C 로 가장 높았다.

Table 3. Measurements of the adult *S. canaliculatus* used for gonadal maturation investigation (Mean \pm SD)

Date	Sex	Number of fish	Total length (cm)	Body length (cm)	Body height (cm)	Body weight (g)
Jan. 25 1996	F	17	29.1 \pm 2.5	24.4 \pm 2.0	9.6 \pm 1.8	374.7 \pm 100.3
	M	23	29.9 \pm 1.8	24.8 \pm 1.5	9.5 \pm 0.4	389.5 \pm 54.8
Feb. 23	F	16	29.4 \pm 3.7	24.4 \pm 3.0	9.4 \pm 2.0	357.4 \pm 151.6
	M	24	30.2 \pm 2.9	24.9 \pm 2.4	9.1 \pm 1.0	367.0 \pm 107.1
Mar. 26	F	15	30.8 \pm 2.0	25.6 \pm 1.2	9.5 \pm 0.6	407.7 \pm 70.9
	M	25	30.8 \pm 1.5	25.4 \pm 1.1	9.5 \pm 0.4	391.8 \pm 46.0
Apr. 26	F	14	27.2 \pm 2.5	22.9 \pm 2.1	8.4 \pm 0.5	272.9 \pm 73.0
	M	24	28.7 \pm 3.6	24.0 \pm 2.8	8.6 \pm 0.8	310.9 \pm 93.9
May 27	F	22	27.1 \pm 4.0	22.4 \pm 3.0	8.5 \pm 1.5	269.9 \pm 137.6
	M	16	26.5 \pm 3.2	21.7 \pm 2.4	8.2 \pm 1.2	244.9 \pm 107.7
June 26	F	14	27.2 \pm 3.0	22.3 \pm 2.1	8.3 \pm 1.1	275.8 \pm 107.0
	M	16	26.5 \pm 2.0	21.5 \pm 1.7	8.3 \pm 0.7	263.4 \pm 57.4
July 15	F	10	29.2 \pm 2.7	24.2 \pm 2.3	8.9 \pm 0.7	340.2 \pm 87.3
	M	9	26.9 \pm 1.9	22.2 \pm 1.6	8.2 \pm 0.7	272.7 \pm 70.2
July 31	F	6	32.0 \pm 1.4	26.6 \pm 1.2	9.8 \pm 0.5	400.2 \pm 82.2
	M	13	32.9 \pm 1.2	27.1 \pm 0.9	9.9 \pm 0.4	472.8 \pm 33.2
Aug. 17	F	8	33.0 \pm 3.1	26.6 \pm 2.7	10.1 \pm 1.0	478.2 \pm 124.2
	M	9	26.3 \pm 2.4	21.1 \pm 1.8	8.1 \pm 0.8	234.4 \pm 63.6
Aug. 31	F	7	26.0 \pm 1.5	21.0 \pm 1.5	8.0 \pm 0.6	254.9 \pm 50.3
	M	15	27.5 \pm 4.1	21.7 \pm 3.2	8.0 \pm 1.3	267.8 \pm 135.0
Sep. 30	F	22	27.3 \pm 3.8	21.6 \pm 3.1	8.2 \pm 1.3	275.3 \pm 148.6
	M	25	26.1 \pm 2.9	20.6 \pm 2.1	7.9 \pm 0.9	232.9 \pm 100.1
Oct. 29	F	18	30.4 \pm 3.4	23.9 \pm 2.3	9.7 \pm 1.2	414.0 \pm 121.4
	M	20	28.4 \pm 3.3	23.5 \pm 2.8	8.9 \pm 0.8	338.6 \pm 98.4
Nov. 25	F	15	30.8 \pm 2.8	24.0 \pm 1.9	9.6 \pm 0.9	397.3 \pm 96.8
	M	25	29.3 \pm 1.8	22.8 \pm 1.5	9.1 \pm 0.6	331.6 \pm 62.9
Dec. 23	F	16	31.4 \pm 3.1	25.1 \pm 2.5	9.8 \pm 0.9	437.1 \pm 116.1
	M	16	28.9 \pm 1.2	22.9 \pm 1.2	9.1 \pm 0.3	318.0 \pm 38.4

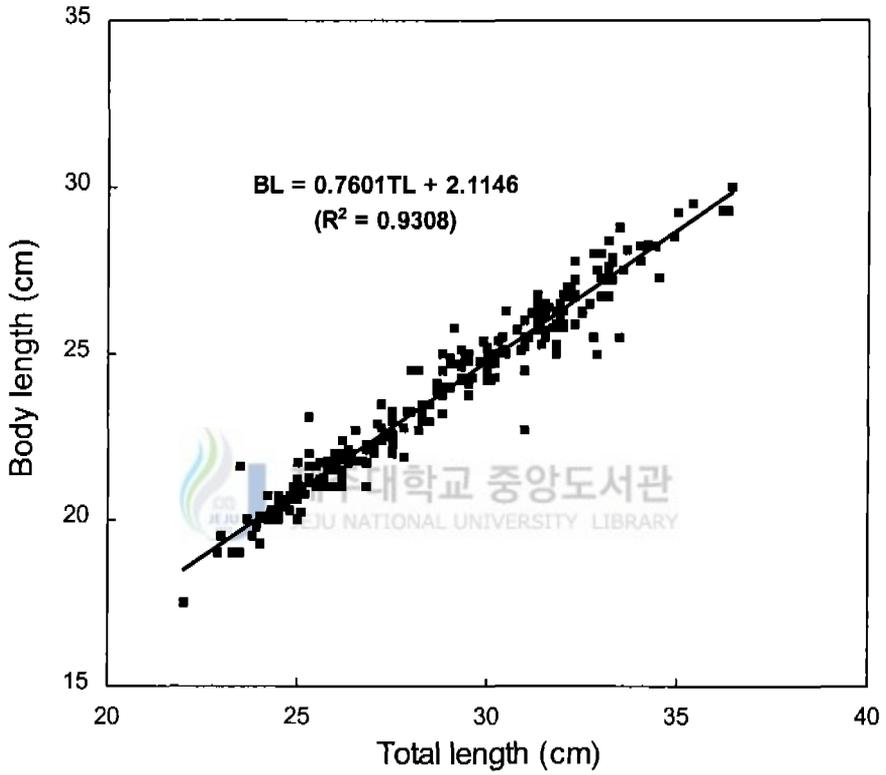


Fig. 5. Relationship between body length (BL) and total length (TL) of *S. canaliculatus*.

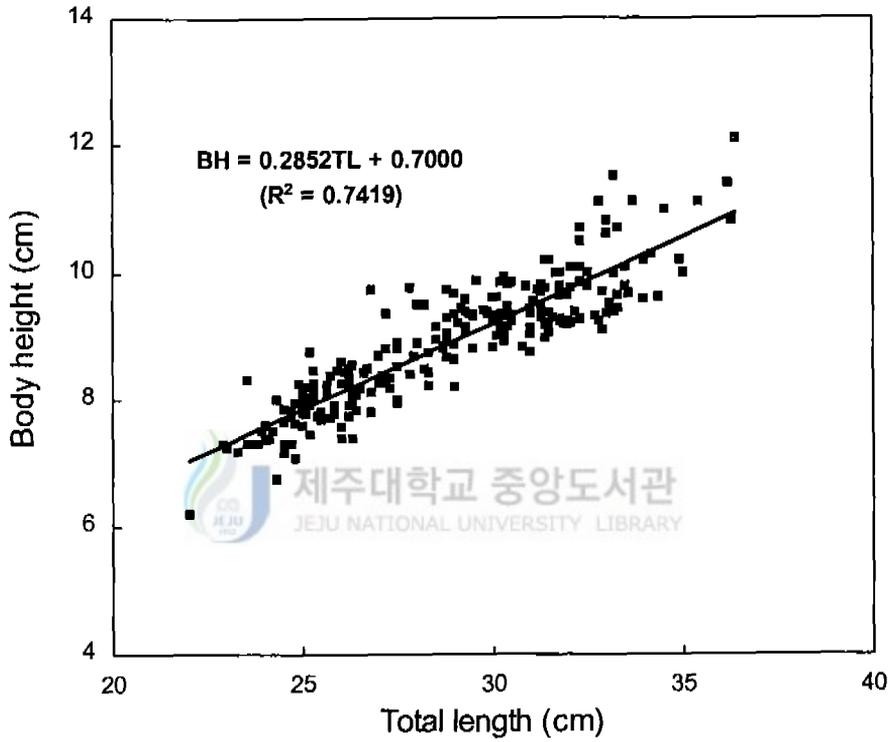


Fig. 6. Relationship between body height (BH) and total length (TL) of *S. canaliculatus*.

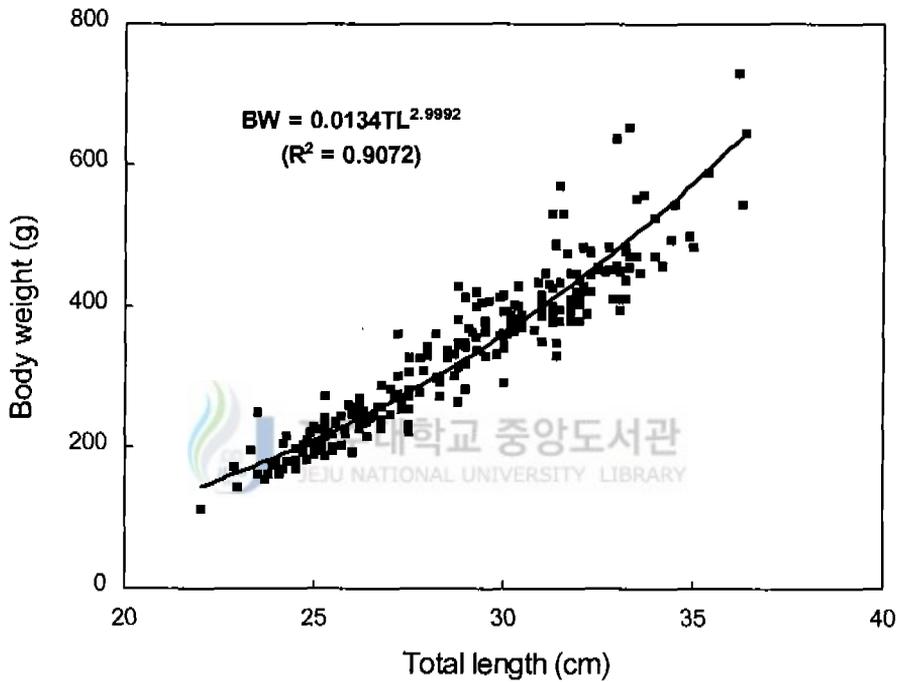
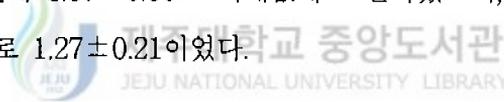


Fig. 7. Relationship between body weight (BW) and total length (TL) of *S. canaliculatus*.

흰점독가시치의 산란기인 7월과 8월의 수온범위는 21.2~26.3℃의 범위였다. 한편 낮의 길이는 산란기인 7월(14 L : 10 D)에 연중 가장 길었다.

GSI의 월 변화는 암수 모두 1월부터 5월까지의 비교적 낮은 값을 유지하다가 5월부터 점차 증가하기 시작하여 6~8월에 접어들어 급격히 증가하였다가 산란기 이후 급격하게 감소하는 경향이였다(Fig. 8). 암컷의 GSI는 1월부터 5월까지 0.80±0.31에서 1.09±0.33의 범위로 비교적 낮았다가 6월부터 급격히 증가하기 시작하여 7월에 9.65±1.96으로 최대값이었고, 이후 급격히 감소하여 9월에는 0.65±0.28로 가장 낮았다. 수컷의 GSI는 연중 암컷과 유사한 경향으로, 7월에 10.00±4.27로 최대치에 달하였으나, 8월 이후 급격히 감소하여 10월에 0.25±0.10으로 최소값을 보였다.

HSI의 월변화는 암수 모두 GSI에 비해 뚜렷한 경향은 없었다(Fig. 9). 암컷의 HSI는 GSI가 최대값이었던 7월에 2.34±0.39 이었으며, 최소값은 4월에 1.26±0.22였다. 그러나 수컷의 HSI는 GSI가 가장 높았던 7월에 접어들면서 1.36±0.25로 서서히 증가하여 10월에 1.87±0.30로 최대값에 도달하였으며, 최소값을 보인 시기는 암컷과 동일한 4월로 1.27±0.21이었다.



3) 생식세포의 형성과정

(1) 난형성

염색인기 염색인기 난모세포는 난경이 약 20 μm내외로 얇은 세포막과 세포질이 대부분을 차지하는 큰 핵을 가지고 있다. 염색인은 haematoxylin에 질게 염색되고 점차 그 수를 늘려간다. 염색인기 난모세포는 주변인기 난모세포와 함께 난소내에서 연중 발견되었다(Fig. 10A).

주변인기 난모세포는 난경이 40~50 μm 전후로 성장함에 따라 세포질 부분이 점차 증대하게 되고, 이러한 세포질은 haematoxylin에 질게 염색되며 핵막을 따라 분산된 인이 분포한다. 성장과 함께 세포질은 haematoxylin에 대한 친화력이 감소하고 난모세포 주위에는 얇은 여포막이 관찰된다(Fig. 10A).

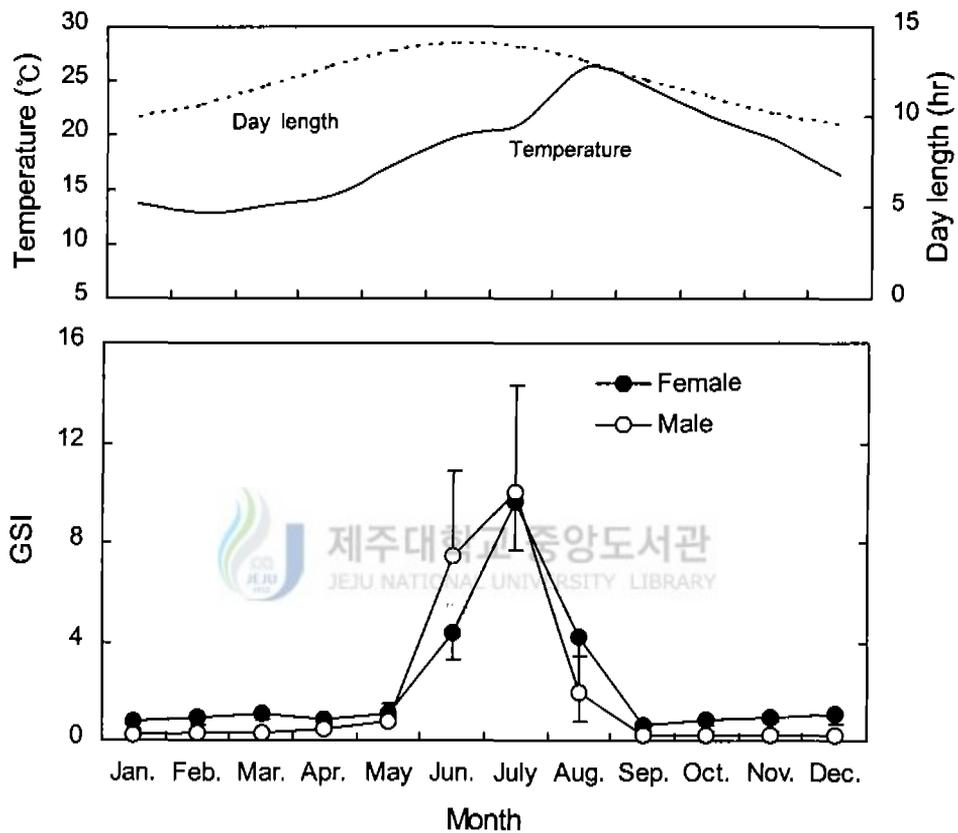


Fig. 8. Monthly changes in GSI values of the female *S. canaliculatus* during the annual reproductive cycle. Each value represents the mean \pm SD.

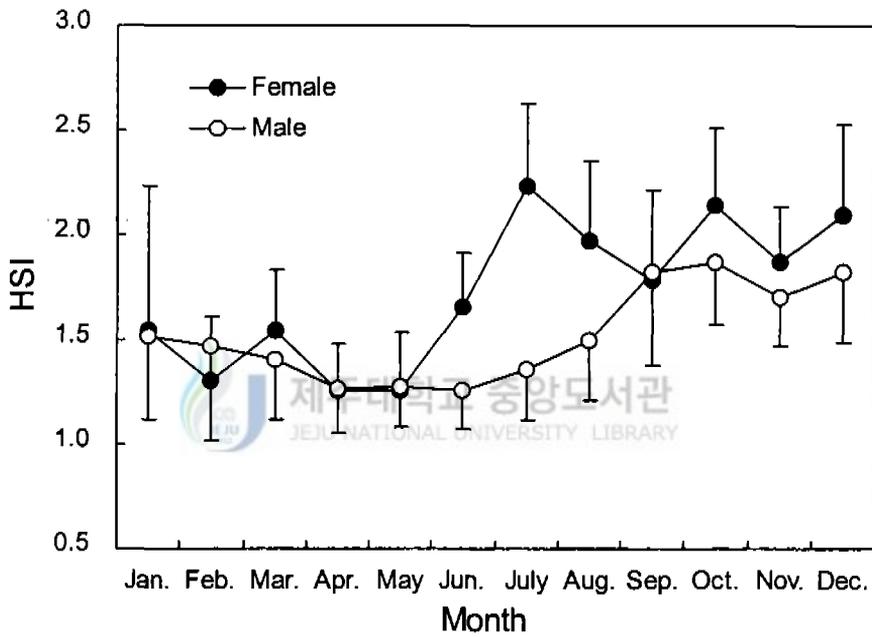


Fig. 9. Monthly changes of hepatosomatic index (HSI) in *S. canaliculatus*.

유구기 난모세포가 성장함에 따라 세포질은 점차 증가하여 난경이 약 130~140 μm 까지 커지고 세포질의 피층으로부터 공포상의 다양한 크기의 유구가 출현하기 시작하고, 세포질에 비해 상대적으로 커진 핵은 구형이며, 핵막에 접하여 다수의 인이 배열한다(Fig. 10B).

난황형성기 난경이 100~240 μm 에 달하면 세포질에는 난황구와 유구들이 축적되기 시작하고, 난경이 230~240 μm 에 이르면 eosin에 짙게 염색되는 방사선대가 형성된다(Fig. 10C). 난황형성 말기의 난모세포에서는 난경 150~300 μm 되는 성숙난이 대부분 차지하게 되고, 핵막이 거치화되면서 세포질은 증가된 유구와 난황구로 가득 채워져 있으며 일부 난황구들은 균질화 된다(Fig. 10D).

핵이동기 난모세포가 난황을 축적하여 충분히 성숙하면 세포질의 중심부에 위치하고 있던 핵이 동물극쪽으로 이동하고, 난경 450~600 μm 되는 완숙난들로 난소가 채워지고, 세포질에는 난황구와 유구들이 완전히 균질화 되며, 세포질의 중심부에 위치하고 있던 핵이 동물극쪽으로 이동한다(Fig. 10E).

퇴행기 산란 후 난소소낭내에는 완숙난을 싸고 있던 잔존 여포대가 남아서 산란 흔적을 보여주고 있다(Fig. 10F). 산란 후 난소 소낭상피가 재배치되고 소낭상피를 따라 주변인기 난모세포와 단일인의 난모세포가 배열되고(Fig. 10G), 30~60 μm 되는 어린 난모세포들이 소낭내에 다수 분포하며, 퇴행되는 알들이 분포하게 된다(Fig. 10H).

(2) 정자형성

흰점독가시치의 정소는 한쌍의 엽상형을 이루고 있고, 정소 내부는 정소막을 따라 정소소엽들이 발달하고 이들 소엽들은 기부수정관으로 연결되어 있다. 초기 성장기 곡정세관(semiferous tube) 사이에는 간질세포(interstitial cell)가 발달해 있

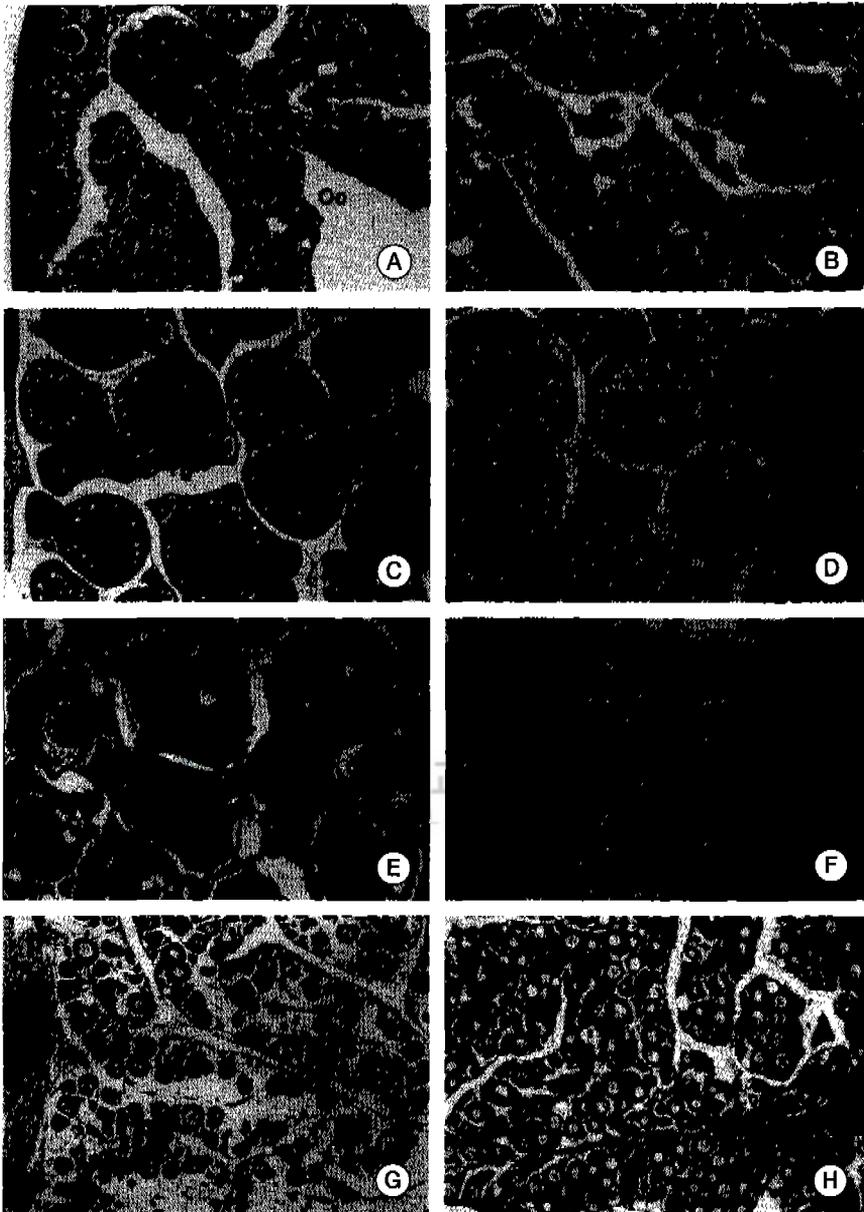


Fig. 10. Developmental stages in the ovary of *S. canaliculatus*.
 A. Ovary of the early growing stage. Oc, Ovarian cavity;
 B. Ovary of the growing stage; C-D. Ovary of the mature stage. Yg, Yolk globule; N, Nucleus; Od, Oil droplet; E-F. Ovary of the ripe and spawning stage. Fl, Follicle layer; G-H. Ovary of the recovery stage. (Scale bar = 200 μm)

고, 곡정세관내의 관상의 소엽상피를 따라 정원세포들이 분열 증식하고 있다(Fig. 11A). 정소소엽내에는 정원세포들이 다수 분포하고 있으며, 정소 소엽 내강에는 정모세포 무리가 출현한다(Fig. 11B). 정소의 발달과 함께 정소 소엽내에는 정모세포군, 정세포군, 소수의 정자무리가 관찰되고, 소엽상피를 따라 간질세포들이 나타나고 있다(Fig. 11C). 정소소엽 주변부에는 정모세포군, 정세포군이 분포하고, 내강에는 정자들이 수적으로 증가하고 있다(Fig. 11D). 정소의 성숙과 함께 정세포들은 계속 정자로 변태되고 정소소엽은 변태된 정자 무리들로 가득 차 있다(Fig. 11E). 방정 이후 정소소엽내에 소수의 정자들이 남아 있으나(Fig. 11F), 이들은 점차 퇴화되고 소엽상피가 재배치 된다(Fig. 11G). 이어서 소엽상피를 따라 정원세포들이 줄지어 출현한다(Fig. 11H).

4) 포란수

완숙상태인 흰점독가시치의 암컷 24개체를 대상으로 전장 및 체중에 따른 총 포란수를 조사한 결과는 Table 4~5와 같다. 조사한 개체들 중 최대 포란수를 가진 개체의 전장과 체중은 각각 33.0 cm 및 637.1 g 이었고, 포란수는 1,452,116개였다. 최소 포란수를 가진 개체의 전장과 체중은 각각 25.3 cm, 255.1 g 이었으며, 포란수는 503,702개였다. 따라서 전장과 체중이 증가함에 따라 난소내 포란수도 상대적으로 증가하는 경향이였다.

5) 생식주기

난소 난모세포의 발달단계는 각각 Table 6과 같다. 염색인기와 주변인기 난모세포는 난소내에서 연중 관찰되었으며, 특히 9월부터 이듬해 4월까지의 난소에서는 염색인기와 주변인기 난모세포들이 존재하였다. 난소내의 난모세포의 본격적인 활성이 시작되는 5월(성장기)에 접어들면서 성장이 빠른 개체에서 세포질내에 유구가 형성되는 난들이 출현하였고, 이때 유구기 난모세포의 비율은 0.1%로서 낮았다. 6월부터

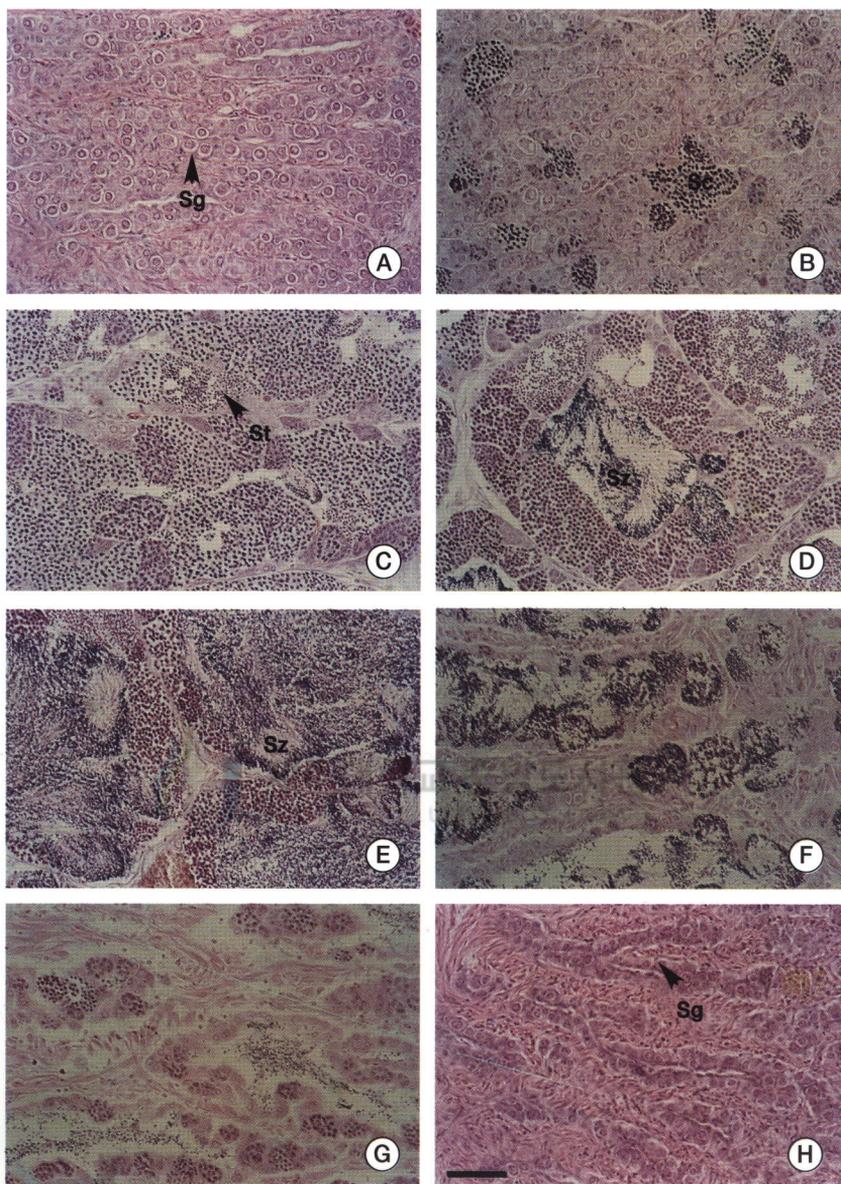


Fig. 11. Developmental stages in the testis of *S. canaliculatus*. A-B. Testis of the early growing stage. Sg, Spermatogonia; Sc, Spermatocytes; C. Testis of the growing stage. St, Spermatid; D. Testis of the mature stage. Sz, Spermatozoa; E-F. Testis of the ripe and spent stage. G-H. Testis of the recovery stage. (Scale bar = 100 μm)

Table 4. Composition of fecundity by total length of *S. canaliculatus*

Total length (cm)	Number of eggs		Number of fish examined
	Range	Mean	
25.0~26.9	503,702~584,314	544,208	3
27.0~28.9	554,600~827,306	707,786	6
29.0~30.9	742,200~1,197,467	1,067,759	3
31.0~32.9	793,103~1,216,418	864,200	4
33.0~34.9	732,211~1,452,116	1,050,396	4
35.0~36.9	891,500~1,315,059	1,079,519	4

Table 5. Composition of fecundity by body weight of *S. canaliculatus*

Body weight (g)	Number of eggs		Number of fish examined
	Range	Mean	
220.0 ~ 299.9	503,702 ~ 827,306	695,565	5
300.0 ~ 379.9	554,600 ~ 742,200	649,876	4
380.0 ~ 459.9	732,211 ~ 975,000	950,013	7
460.0 ~ 539.9	895,000 ~ 1,036,211	966,024	4
540.0 ~ 619.9	891,500 ~ 1,315,059	1,079,519	3
620.0 ~ 699.9	1,452,116	-	1

Table 6. Monthly changes of number and proportion of the oocytes in each ovarian developmental stage of *S. canaliculatus*

Date	Number of oocytes	Developmental stages of ovary														Empty follicle	Atretic oocyte	
		Chromatin-nucleolus stage		Peri-nucleous stage		Oil-droplet stage		Yolk stage						Migratory nucleous stage				
		No.	%	No.	%	No.	%	Primary		Secondary		Tertiary		No.	%			
								No.	%	No.	%	No.	%	No.	%			
Apr. 28	2857	465	16.3	2392	83.7													
	2695	484	18.0	2211	82.0													
	5462	694	12.7	4768	87.3													
	2459	374	15.2	2085	84.8													
	3752	92	15.0	1523	85.0													
May 27	2663	301	11.3	2352	88.3	10	0.4											
	2536	387	15.2	2147	84.7	2	0.1											
	2421	271	11.2	2150	88.8													
	2685	356	13.3	2329	86.7													
	10305	1315	12.8	8978	87.2	12	0.1											
June 26	1746	45	2.6	1345	77.0	266	15.2	90	5.2									
	2284	20	0.9	1746	76.4	401	17.6	94	4.1	23	1.0							
	1937	15	0.8	1660	85.7	170	8.8	92	4.7									
	1992	25	1.3	1600	80.3	294	14.8	73	3.7									
	7959	105	1.3	6351	79.8	1131	14.2	349	4.4	23	0.3							
July 15	978	30	3.1	467	47.7	40	4.1	116	11.9	70	7.1	207	21.2	48	4.9			
	941	18	1.9	404	43.0	82	8.7	49	5.2	114	12.1	148	15.7	126	13.4			
	951	15	1.6	392	41.2	74	7.8	86	9.0	108	11.4	180	18.9	96	10.1		+	
	882	29	3.2	260	29.5	65	7.4	75	8.5	120	13.6	170	19.3	163	18.5		++	
	3752	92	2.4	1523	40.6	261	7.0	326	8.7	412	11.0	705	18.8	433	11.5			
Aug. 17	1013	36	3.6	478	47.2	87	8.6	48	4.7	106	10.5	127	12.5	131	12.9		+++	
	687	29	4.2	210	30.6	3	0.4	10	1.5	45	6.6	130	18.9	260	37.8		+++	
	918	25	2.7	893	97.3												++	+++
	1068	55	5.1	1013	94.9												+	+++
	3686	145	3.9	2594	70.4	90	2.4	58	1.6	151	4.1	257	7.0	391	10.6			
Sep 30	1479	292	19.7	1187	80.3													++
	1768	317	17.9	1451	82.1													+
	4009	1015	25.3	2994	74.7													++
	2692	305	11.3	2387	88.7													+
	9948	1929	19.4	8019	80.6													

* Relative amounts of empty follicles and atretic oocytes are indicated by marks, + to +++.

는 세포질 내에 난황구들이 출현하기 시작하여 8월까지 관찰되었고, 유구기 난모세포의 비율은 14.2%로 증가하였다. 7월부터 난황형성기 난모세포는 제 3난황구기에 접어들었으며, 제 1, 제 2, 제 3 난황구기 난모세포의 비율은 각각 8.7%, 11.0%, 18.8%로 점차 증가하였으며, 유구기 난모세포의 비율(7.0%)은 점차 감소하였다. 8월 17일까지는 난황형성기 난모세포가 대부분 분포하고 있지만, 8월 31일에는 조사된 개체에서 전부 사라졌다. 또한 7월부터 일부 난소에서는 산란 흔적을 나타내는 여포세포층과 퇴화중인 난모세포도 소수 관찰되었으며, 8월 17일에 조사된 암컷의 난소에서 가장 많이 관찰되었고, 퇴행란은 8월 31일에 최고치에 달했다. 8월말부터는 난황형성기 난모세포가 관찰되지 않았으며, 4월까지 염색인기 및 주변인기 난모세포가 대부분을 차지하였다.

이상과 같이 난형성과정과 난모세포의 월별 발달 단계를 종합하여 볼 때, 암컷의 생식주기는 초기성장기((2~5월), 성장기(5~6월), 성숙기(6~7월), 완숙 및 산란기(7~8월), 회복기(8~4월)로 나눌 수 있었다(Fig. 12).



정소 정원세포는 완숙 및 방출기인 6월과 7월을 제외하고 연중 관찰되었으며, 회복기인 10월부터 12월까지 정소 내에 정원세포의 분포비율이 100%에 달했다(Fig. 13). 4월부터 정모세포의 비율이 약 50%까지 증가하는 초기성장기를 거쳐 5월부터는 정세포와 소수의 정자가 출현하는 성장기에 접어든다. 성숙이 시작되는 6월이 되면 정소 내에 정자의 분포비율이 점차 증가하여 소엽내강에 분포하는 성숙기로 접어든다. 한편 성숙이 빠른 개체에서는 6월부터 변태를 마친 정자가 무리를 형성하고, 7월에는 정소의 68% 이상이 정자로 가득 채워지면서 방정한 흔적이 관찰되기 시작하여 8월까지 완숙 및 방출기가 지속된다. 8월에 접어들면서 미 방출정자가 퇴화 흡수되고 소엽상피에 정원세포들이 재배치되는 회복기 상태가 12월까지 지속되었다(Fig. 13). 이상의 결과로 수컷의 생식주기 또한 암컷과 유사한 것으로 조사되었다.

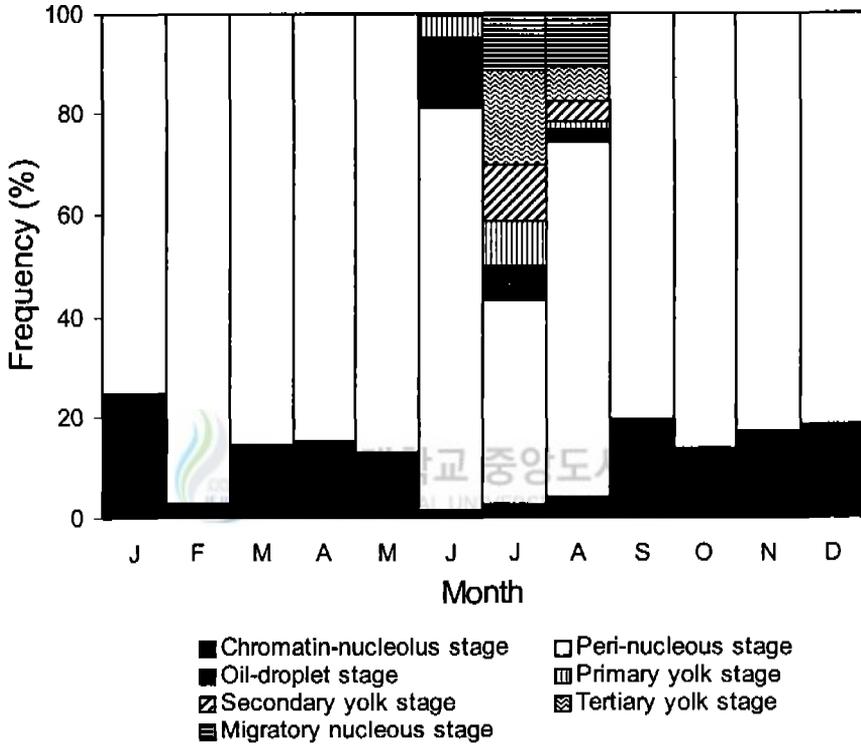


Fig. 12. Monthly changes in proportional frequency of developmental stage of the oocytes of *S. canaliculatus*.

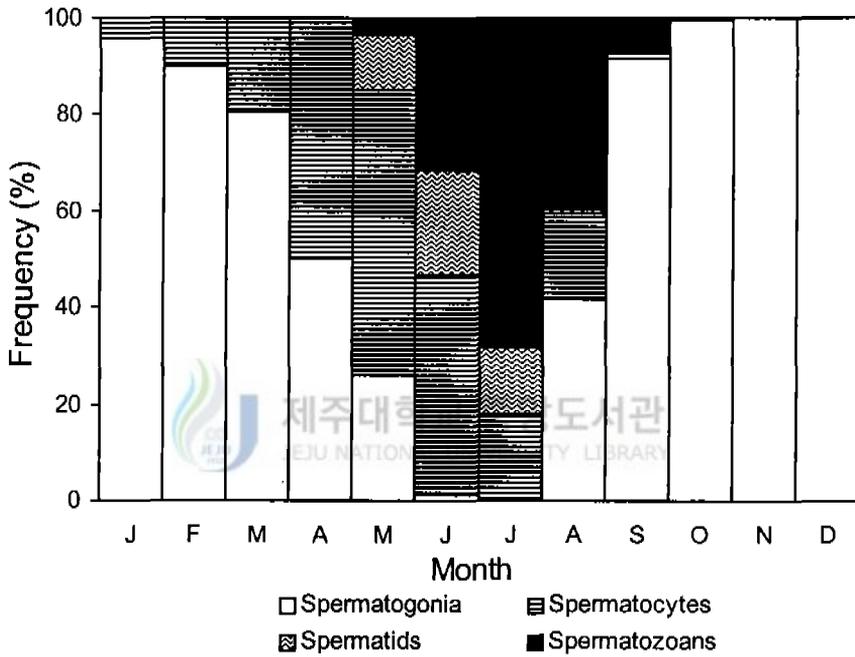


Fig. 13. Monthly changes in proportional frequency of the testicular stage of *S. canaliculatus*.

2. 산란 유도 및 초기생활사

1) 어미의 사육 생애

사육수조에 먹이로서 해조류와 건조사료를 공급한 결과 흰점독가시치는 갈파래 엽상을 간혹 한두 차례 쪼아대는 행동을 보였으나, 건조 사료는 섭식하지 않았다. 그러나 2일째부터는 1~2마리 어미로부터 수조바닥에 떨어진 건조사료를 섭이하는 광경이 관찰되었으며, 점차 사료를 섭식하는 개체가 증가하기 시작했다. 수용 후 5일째 어미의 위 내용물을 조사한 결과 갈파래와 건조 사료가 일부 확인되었으며, 10일째부터는 건조 사료가 위 속에 가득 차 있었다. 또한 수조 벽면에 규조류 등 작은 조류를 갉아먹는 행동을 보였다.

실내수조에서 흰점독가시치 어미를 약 1년 동안 사육한 결과는 Table 7과 같다. 사육 실험 개시시 어미의 평균 전장은 24.3 ± 3.7 cm, 평균 체중은 231.3 ± 107.1 g이었다. 실내수조에 수용한 초기(4개월간)에는 아직 수조에 완전하게 적응하지 못했을 뿐만 아니라 점차 수온 하강기에 접어들어 성장이 둔화되었으며, 이 기간동안 모두 31마리가 폐사하였다. 그러나 실내 수조에 완전하게 적응되고 수온이 상승하기 시작한 5월부터는 섭이량도 증가하였고, 성장이 빨라졌다. 최종적으로 평균 전장 27.7 ± 1.0 cm, 평균 체중 373.7 ± 71.9 g으로 성장하였으며, 생존율은 66.2%였다.

흰점독가시치는 실내수조에서 사육중, 6~9월 고수온기에 체표에 다량의 점액이 분비되고, 등지느러미 기저부위나 꼬리자루 부분에 출혈 및 궤양이 발생하여 결국 먹이를 섭이하지 못하고 폐사했다. 따라서 현미경으로 표피를 검경한 결과, 피부흡충인 *Benedenia*가 기생하고 있는 것이 관찰되어 포르말린 150~200 ppm의 농도에서 30~40분만에 완전히 구제되었다.

Table 7. Growth and survival of *S. canaliculatus* stocked for spawning induction indoor tank (80 m³)

At the start of rearing	
Date	November 14, 1995
Number of fish	145
Total length (cm)	24.3±3.7
Body length (cm)	20.5±2.9
Body height (cm)	7.5±1.2
Body weight (g)	231.3±107.1
At the end of rearing	
Date	December 31, 1996
Number of fish	96
Total length (cm)	27.7±1.9
Body length (cm)	24.5±1.4
Body height (cm)	9.3±0.9
Body weight (g)	373.7±71.9
Survival rate (%)	66.2

2) HCG 처리에 의한 배란유도

흰점독가치의 배란유도를 목적으로 HCG를 각각 시기를 달리하여 복강에 어체중 1 kg당 500~1,500 IU로 1~2회 주사하여 배란 효과를 조사한 결과는 Table 8과 같다. 자연산 실험구인 W-I에서는 HCG주사 후 7일간 모든 실험구에서 배란이 유도되지 않아 2회째 투여한 결과, 어체중 kg당 500 IU 처리구에서는 4마리의 실험어중 1마리가 배란되어 25%가 배란 유도되었고, 1,000 IU와 1,500 IU 처리구에서는 전 실험어에서 배란이 확인되어 100% 배란이 유도되었다. W-II에서는 500 IU 처리구에서는 배란이 유도되지 않았으나, 1,000 IU와 1,500 IU 처리구에서는 1회 처리로 100% 배란이 유도되었다. 인공산 실험구(C-I)에서는 2~3차에 걸쳐 투여한 결과 최종적으로 6마리의 실험어 중 4마리가 배란되어 67% 배란이 유도되었다. 모든 실험구에서 대조구는 배란이 유도되지 않았다.

HCG 처리 후 배란이 유도되기까지의 소요시간은 수온 23.1~27.0°C 범위에서 172~270시간 (W-I)과 77~132시간 (W-II)이었는데, 고농도로 갈수록 다소 빨랐으며, 비교적 소형 개체에서 배란 유도시간이 길었다(Table 8). 인공산 실험구(C-I)에서는 HCG를 어체중 kg당 1,000 IU 단독으로 투여한 결과 192~360시간이 소요되어 배란에 도달하는데 상당한 시간이 소요되었다.

자연산(W-I)과 인공산(C-I) 실험구에서 GSI, Pseudo-GSI, 산란량 및 난경을 조사한 결과는 Table 9와 같다. W-I에서 배란 후 GSI는 22~33%였고, Pseudo-GSI는 19~28% 이었으며, 호르몬 처리농도에 따른 유의차는 인정되지 않았다($P>0.05$). 방출된 알의 수는 354,000~847,800개로 어체중 100 g당 113,000~165,000개로 조사되었다. 난경은 산란량과 호르몬 처리 농도와 관계없이 576~588 μm 로 비교적 일정하였다. 또한 방출된 알의 수와 체중과의 상관관계는 높았다(Fig. 14). 그리고 인공산(C-I)에서

Table 8. Effect of HCG on the ovulation in the female of *S. canaliculatus*

Exp. No.	Dose (IU/kg)	Number of fish injected	Number of fish ovulated (%)	Time to ovulation (h)*
W- I **	Control	2	-	-
	500	4	1 (25)	266
	1,000	4	4 (100)	173~267
	1,500	4	4 (100)	172~270
W- II ***	Control	2	-	-
	500	2	-	-
	1,000	2	2 (100)	77~132
	1,500	2	2 (100)	91~129
C- I ****	1,000	6	4 (67)	192~360

* Elapsed time in hours after the first injection.

** Wild-caught spawner injected two times with HCG.

*** Wild-caught spawner injected once with HCG.

**** Cultured spawner (two years old).

Table 9. GSI, pseudo-GSI and egg numbers in *S. canaliculatus*

Fish. No.	body weight (g)	Weight (g)		GSI (%)	Pseudo GSI (%)	Egg numbers	Mean egg diameter (μm)
		Egg *	Ovary **				
W I -3	348	89.3	24.0	32.6	25.7	535,800	576
I -5	322	81.0	17.6	30.6	25.2	486,000	578
I -6	625	141.3	30.9	27.6	22.6	847,800	580
I -7	434	119.6	22.9	32.8	27.6	717,600	577
I -8	378	89.6	22.3	29.6	23.7	537,600	583
I -9	665	136.3	18.0	23.2	20.5	817,800	587
I -10	474	130.3	21.6	32.0	27.5	781,800	580
I -11	484	117.3	15.3	27.4	24.2	703,800	588
I -12	314	59.0	8.7	21.6	18.8	354,000	576
C I -1	457	86.0	13.7	21.8	18.8	516,000	594
I -4	361	20.0	14.5	9.6	5.5	390,000	604
I -5	368	58.0	12.0	19.0	15.8	348,800	598
I -6	404	75.0	11.3	21.4	18.6	450,000	579

* Weight of the eggs stripped.

** Weight of ovary after stripping.

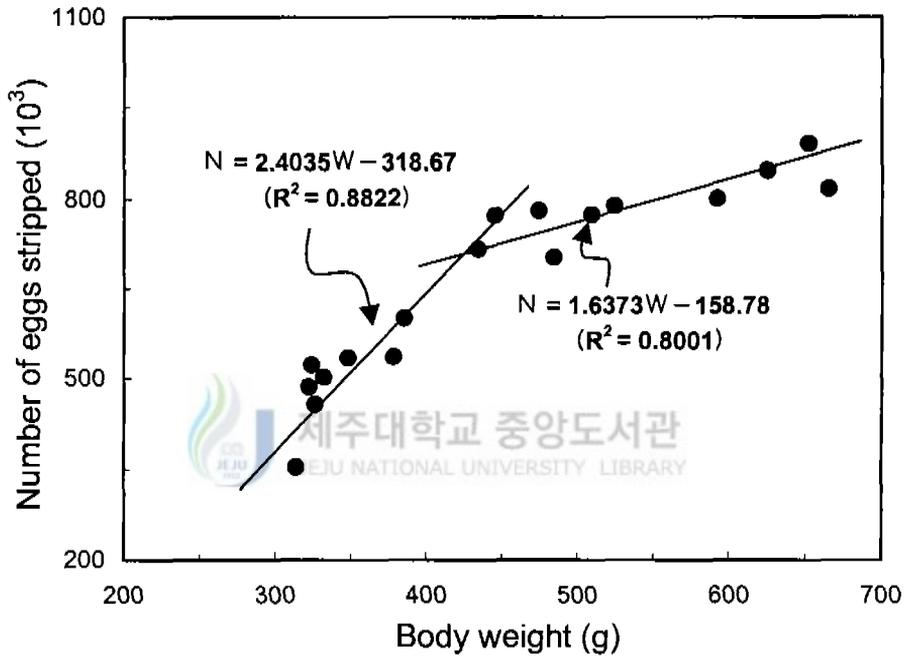


Fig. 14. Relationship between body weight and the number of eggs stripped in the females of *S. canaliculatus*.

GSI는 9.6~21.8%, Pseudo-GSI는 5.5~18.8%로 비교적 낮았으며, 방출된 알의 수는 348,800~516,000개였다.

HCG 농도에 따른 난질 평가의 한 방법으로 수정률, 부화율, 배체형성률 등을 측정된 결과는 Table 10과 같다. 자연산에서 수정률은 전 실험구에서 96.0~98.4%로 높았으며($P>0.05$), 부화율은 어체중 kg당 500 IU 처리구에서 89.6%, 1,000 IU에서 57.7%, 1,500 IU에서 50.3% 순이었다($P<0.05$). 배체형성률도 500 IU 처리구에서는 72.5%인 반면, 1,000 IU와 1,500 IU에서는 각각 64.9%와 58.1% 이었으며($P<0.05$), 고농도 처리구로 갈수록 부화율과 배체형성률이 낮았다. 인공산 실험구에서는 평균 수정률, 부화율 및 배체형성률은 각각 94.1%, 68.1%, 71.9%였다.

3) 실내에서의 자연산란

(1) 어미의 전장, 체장, 체중 조성

자연산란에 사용된 흰점독가시치 어미의 전장, 체장 및 체중은 Table 11과 같다. 1997년 7월 1일 개체당 자연산란 실험에 사용된 암컷 3마리의 전장은 27.9~30.3 cm, 체장은 22.8~25.6 cm, 체중은 306.5~416.9 g 범위였다. 수컷은 9마리로서 전장은 27.0~31.7 cm, 체장은 22.0~27.0 cm, 체중은 247.5~455.3 g 범위였다. 그리고 1998년 7월 1일 실험에 사용된 암컷은 모두 8마리로서 전장은 26.5~36.0 cm, 체장은 21.5~29.8 cm, 체중은 275.1~832.5 g 범위였다. 수컷은 총 24마리로서 전장은 26.8~31.0 cm, 체장은 21.6~26.0 cm, 체중은 264.4~510.3 g 범위였다.

(2) 산란행동과 채란

자연산란 실험에서 흰점독가시치는 주로 밤에 산란이 이루어 졌으나, 일부 어미에서 낮에 산란이 관찰되었다. 산란행동은 Fig. 15에 도해하였다.

Table 10. Comparison of by fertilization, embryo formation, and hatching rate in different HCG treatment trials between wild-caught and cultivated females

Fish No.	Fertilization rate (%)	Embryo formation rate (%)	Hatching rate (%)
W I - 3	96.8	72.5	69.6
I - 5	97.1	63.6	54.9
I - 6	97.9	67.4	63.3
I - 7	98.4	66.3	58.2
I - 8	96.0	62.4	54.3
I - 9	96.5	61.2	47.3
I - 10	98.0	61.0	52.5
I - 11	96.8	56.9	52.2
I - 12	97.6	53.2	49.3
C I - 1	93.5	73.5	69.3
I - 4	96.7	70.1	68.5
I - 5	92.8	74.3	70.3
I - 6	93.5	69.8	64.5

Table 11. Size of *S. canaliculatus* females stocked in a tank (3.5 m³) for the induction of spawning

Trials	Date	Total length (cm)	Body length (cm)	Body height (cm)	Total weight (g)
97-1	July 1, 1997	30.3	25.2	9.3	416.9
97-2		27.9	22.8	9.6	306.5
97-3		29.8	25.6	9.7	361.2
98-1	July 1, 1998	28.5	22.5	9.2	375.7
98-2		31.3	25.0	9.2	409.2
98-3		31.5	25.5	9.7	423.3
98-4		26.5	21.5	9.0	275.1
98-5		36.0	29.8	11.8	832.5
98-6		33.0	25.5	10.1	543.5
98-7		28.3	24.5	9.3	306.1
98-8		29.0	24.7	9.6	375.0
Mean		30.2	24.8	9.7	420.5

산란기 이전에는 암수 구분 없이 수조 전체를 유영하지만 산란 4~5일 전부터 암수가 수조 바닥에 나란히 위치하면서 느리게 유영하였다. 산란 5시간 전에 암컷은 수조와 바닥과 벽면을 2~3회 정도 반복해서 비벼댔고, 수컷 1~2 마리가 암컷 주위를 맴돌고 있었다. 이때 암컷은 체색이 보다 검은 청회색으로 변했고, 수컷은 보다 밝은 색으로 체표면에 산재되어 있는 반점이 선명하게 드러났다. 1시간 정도 경과하면서 암컷 1마리에 수컷 1~2마리가 뒤따르면서 유영을 계속했다. 산란 3시간 전부터는 수컷이 암컷을 향해 보다 공격적인 행동으로 복부 주변을 자극하였으며, 이러한 행동이후 수컷은 소량 방정했으나, 암컷은 방란하지 않았다. 이러한 행동을 반복하다가 오후 1시경에 방정이 이루어졌고, 곧이어 암컷이 방란하였다. 산란시간은 수초간에 걸쳐 짧게 이루어졌으며, 산란은 더 이상이 이루어지지 않고 1회로 종료되었다.

효율적인 채란을 위하여 다양한 형태의 채란판을 이용하여 알의 부착 상황을 조사한 결과 투명 유리판이 가장 양호하였으며, 그 다음으로 전복 종묘생산용 파판 > 차광망 > PVC 평판 순이었다. 또한 모든 채란판에서 수직으로 설치한 것보다 수평으로 설치한 쪽에서 보다 양호한 결과를 얻었다. 또한 PP 수조 벽면에는 일시적으로 부착하였다가 시간이 경과함에 따라 대부분 탈락되었다.

(3) 산란량, 수정 및 부화

실내수조에서 어미의 개체당 자연 산란 결과는 Table 12와 같다. 1997년 7월 1일 암컷 3마리를 수용한 후 43일 만인 8월 12일에 1마리가 최초로 산란하였고, 나머지 2마리는 각각 44일, 46일째 산란이 이루어졌다. 산란일을 음력으로 조사해 본 결과 10~13일 사이에 산란이 관찰되었다. 산란은 23:00~04:00 사이에 이루어졌으며, 모든 실험구에서 1회로 산란이 종료되

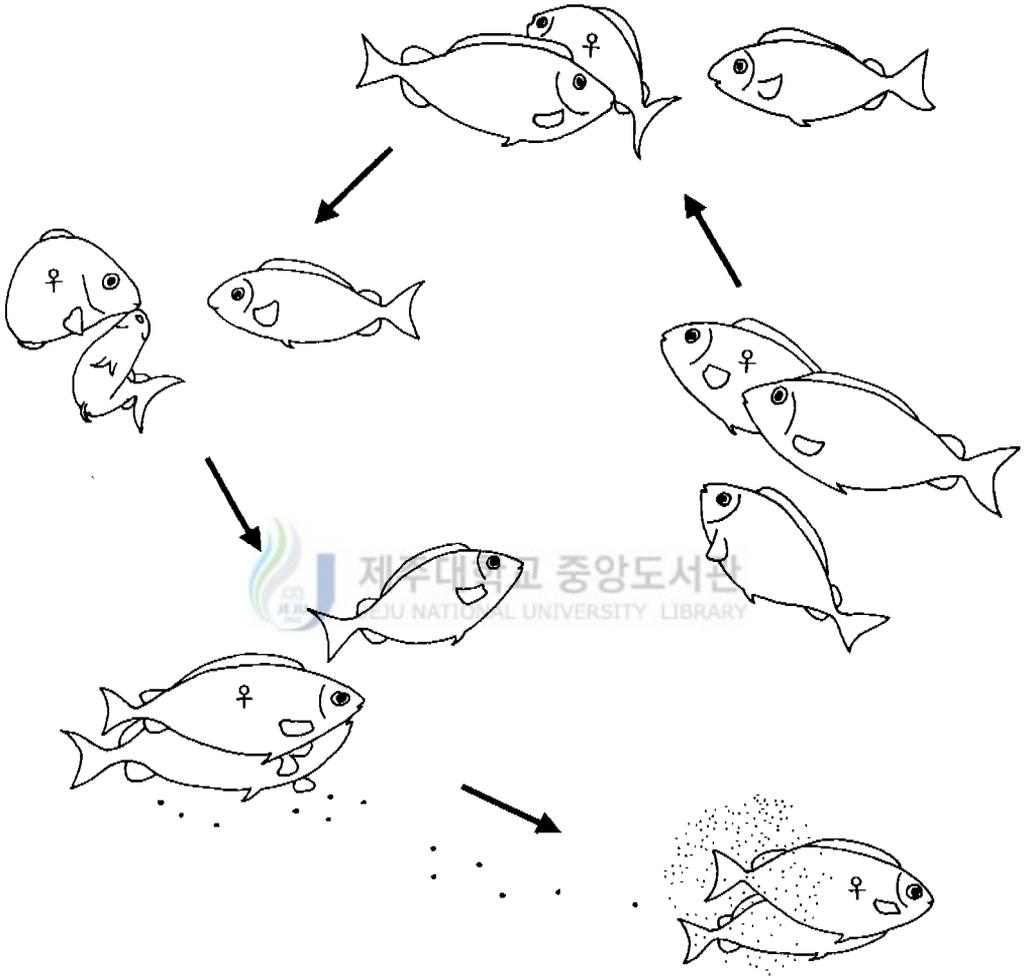


Fig. 15. Drawing of spawning behavior of *S. canaliculatus*.

Table 12. Results of natural spawning of the wild and cultured stock of *S. canaliculatus* in 1997 and 1998

Trials	Date of stocking	Date and time of spawning		Lunar calendar date	Number of eggs ($\times 10^3$)	Fertilization rate (%)	Hatching rate (%)
97-1	July 1, 1997	Aug. 12	23:00~02:00	10	450.0	85.6	88.4
97-2		15	03:00~04:00	13	390.2	87.3	84.2
97-3		13	01:00~02:00	11	410.0	88.3	82.1
98-1	July 1, 1998	July 31	13:00~14:00	9	190.5	89.0	80.4
98-2		Aug. 4	02:00~03:00	13	384.2	86.9	83.3
98-3		3	10:00	12	866.3	89.3	88.3
98-4		NS*		-			
98-5		Aug. 2	10:30	11	885.9	90.3	88.0
98-6		5	05:00~06:00	14	746.8	92.6	88.8
98-7		12	02:00~03:30	21	393.6	93.6	85.0
98-8		Sep. 4	15:00~16:00	14	356.2	85.7	82.1
Mean					461.2	88.9	85.1

* NS : Not spawned.

어 더 이상의 산란은 관찰되지 않았다. 암컷 1마리당 산란한 알의 수는 390,200~450,000개의 범위였으며, 평균 416,733개였다. 산란이 되지 않고 생식소 내에 남아있는 알은 평균 60,000개로 미숙란과 일부 성숙단계의 알들이 혼재되어 있었다. 수정률은 85.6~88.3%(평균 87.1%)범위였으며, 부화율은 82.1~88.4%(평균 84.9%)범위였다.

1998년의 경우 7월 1일에 총 8마리를 수용하여 7마리가 산란하였다. 수조에 수용한 후 30일 만인 7월 31일에 최초로 산란이 관찰되어 8월 4일에 종료되었으나, 주로 8월초에 산란이 집중적으로 이루어졌다. 산란일을 음력으로 조사해 본 결과 대부분의 실험에서 만월 1~6일 사이에 주로 산란이 관찰되어 달 주기성에 따라 산란하였다. 1998년에는 산란시간이 02:00~16:00사이에 이루어져 밤낮 구분 없이 산란이 이루어졌으며, 1회로 산란이 종료되었다. 암컷 1마리당 산란수는 190,500~866,300개 범위였으며, 평균 461,200개였다. 수정률은 85.6~93.6%(평균 88.9%)였으며, 부화율은 80.4~88.8%(평균 85.1%)였다. 자연산란된 수정란의 난경은 0.53~0.64 mm 범위였고, 평균 난경은 0.58 ± 0.02 mm였다. 자연산란 기간동안의 수온 범위는 '97년에 21.2~27.5℃, '98년에 20.2~27.0℃였으며, 염분농도는 '97년도에 31.6~34.6‰, '98년에 29.0~33.2‰였다.

4) 난발생과 부화

(1) 발생과정

환점독가시치의 인공수정에 의한 난 발생 과정은 Table 13과 Fig. 16에 나타내었다. 수정란은 구형으로 약한 점착성을 띠고있는 침성 점착란이다. 난경은 0.55~0.62 mm(평균 0.58 ± 0.02 mm, n=300) 이었고, 유구는 3~5개의 대형 유구(0.09~0.19 mm)와 5~7개의 소형 유구(0.03~0.06 mm)가 분포하고 있고, 난황은 무색, 반투명하였다.

Table 13. The egg development and hatching of *S. canaliculatus*

Developmental stage	Symbols in Fig. 16	Time after fertilization	Features of eggs and embryos
Fertilized egg	A	0 min	Spherical in shape, 0.58 mm in mean egg diameter.
2 cell stage	B	58 min	
4 cell stage	C	1 h 17 min	
8 cell stage	D	1 h 35 min	
16 cell stage	E	1 h 55 min	
32 cell stage	F	2 h	
Morula stage	G	2 h 20 min	
Early gastrula stage	H	5 h 30 min	Blastodisc occupied of yolksac, fomation of germring.
Late gastrula stage	I	6 h 40 min	Appearance of embryonic shield, closing of blastopore.
Early embryo formation	J	7 h	
Kupffer's vesicles appearance	K	11 h 56 min	Appearance of optic vesicle and Kupffer's vesicle. 6-7 myotomes stage.
Pulsation began	L	26 h 32 min	Begining of heart beat and embryonal movement.

알은 수온 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 에서 수정 후 10~20초 후에 좁은 위관강(perivitelline space)이 생기면서 배반(blastodisc)이 형성되었다(Fig. 16A). 수정 후 58분 만에 배반이 동·식물극을 축으로 둘로 나뉘어지는 제 1난할이 시작되어 2세포기에 이르렀다(Fig. 16B). 제 2난할은 제 1난할이 완료된 후 약 1시간 17분 만에 4세포기에 이르렀고(Fig. 16C), 1시간 35분 후에 8세포기(Fig. 16D), 2시간 20분에 32세포기에 이르렀다(Fig. 16F).

난할이 계속 진행되면서 할구의 크기가 점점 작아지고, 수정 후 3시간 만에 배반을 구성하는 할구의 수를 셀 수 없는 상실기로 되었다(Fig. 16G). 수정 후 4시간 10분이 되었을 때 포배기에 이르면서 배반엽(blastoderm)이 융기되기 시작했다. 그 후 차츰 배반엽이 넓어지면서 난황을 덮기 시작하였다. 수정 후 5시간 30분이 경과되었을 때 배반은 차츰 난황을 덮어 씌우면서 배환(germ ring)이 형성되면서 초기 낭배기에 접어들었다(Fig. 16H). 수정 후 6시간 40분이 경과되었을 때 원구(blastopore)가 폐쇄되었고(Fig. 16I), 수정 후 7시간 만에 배순(embryonic shield)이 형성되면서 배체가 나타났다(Fig. 16J).

수정 후 11시간 56분이 지나면서 두부가 발달하면서 안포가 형성되었고, 6~7개의 근절이 형성되었다(Fig. 16K). 이 때 쿠퍼씨포(Kupffer's vesicle)가 배체의 뒤쪽 부분에서 관찰되었다.

수정 후 26시간 32분 만에 눈에 lens가 생기고 안포 뒤쪽에 이포가 형성되었으며, 이어서 배체의 움직임이 시작되면서 가끔 심장박동이 관찰되었다. 꼬리부분이 난황으로부터 분리되고 배체의 움직임이 더욱 활발해졌으며, 소형 유구들은 소실되고 2~3개의 대형 유구가 관찰되었다. 이때 근절 수는 23~26개였다(Fig. 16L). 27시간 30분이 경과하였을 때 흑색소포는 주로 눈의 앞쪽과 난황 및 유구 표면에 산발적으로 출현하였다. 수정 후 30시간 만에 배체의 활발한 움직임이 관찰되었고, 순간적인 회전운동이 자주 일어나면서 부화가 시작되었고, 부화는 1시간정도 지속되었다.

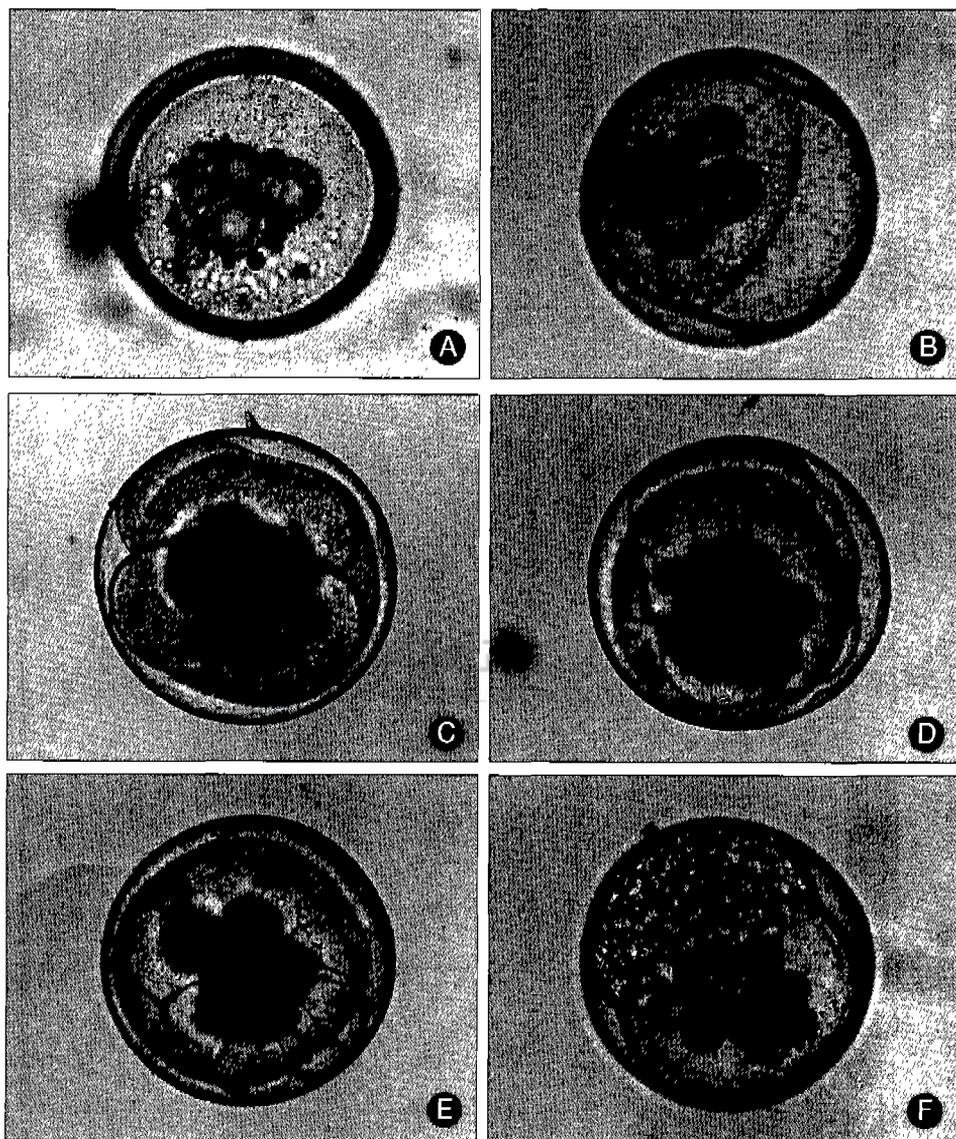


Fig. 16. Embryonic development of *S. canaliculatus*.

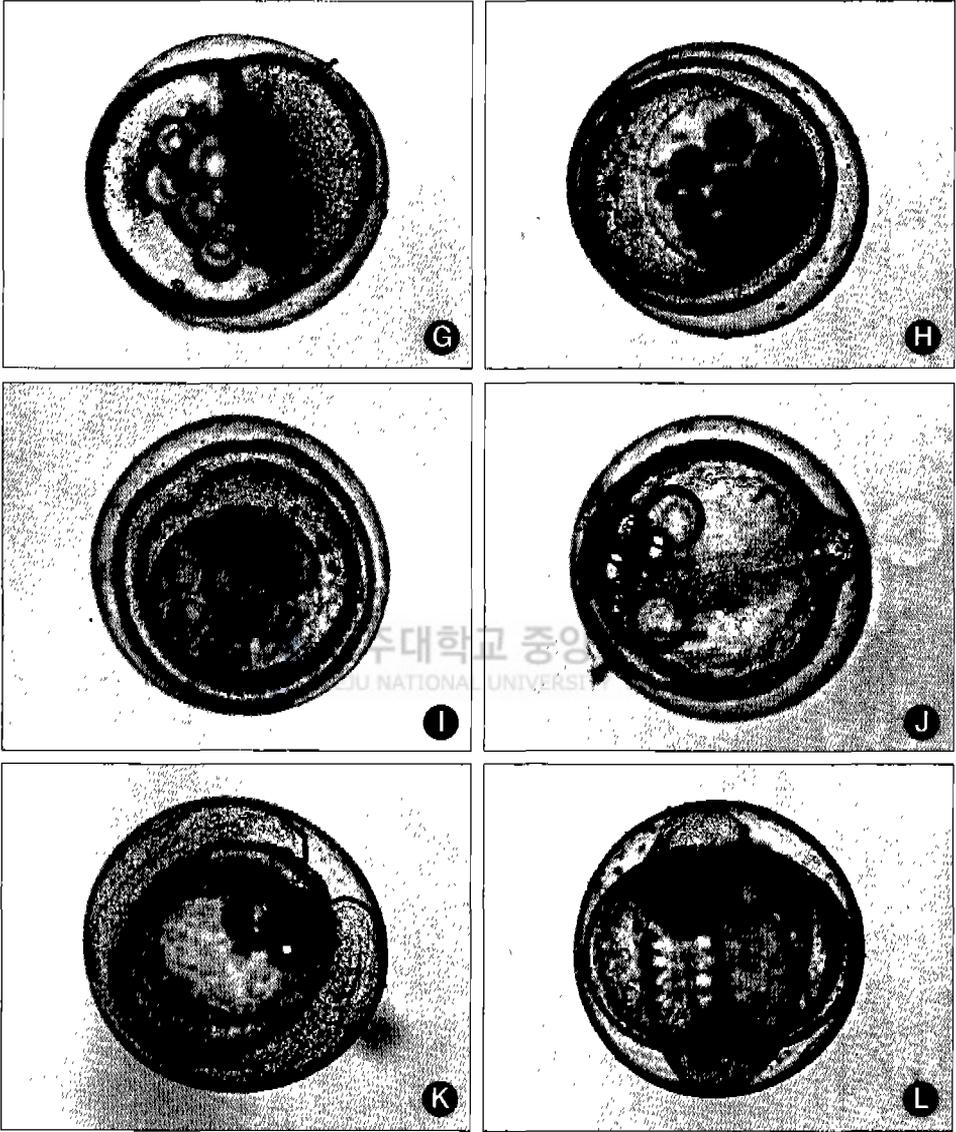


Fig. 16. Continued.

(2) 발생속도와 부화

수온별로 각 발생 단계에 도달하는 시간은 Table 14와 같다. 20℃에서 8세포기까지 소요된 시간은 평균 2.3시간인 반면, 24℃에서는 평균 1.4시간, 32℃에서는 1.2시간이 소요되었다. 상실기까지의 발생은 20℃에서 5.2시간, 28℃에서는 2.5시간이 소요되었다. 또한 부화자어기까지의 평균 소요시간은 20℃일 때 55.2시간, 24℃일 때 34.0시간, 28℃일 때 27.0시간, 32℃일 때 22.0시간으로 수온이 높을수록 발생단계별 소요시간이 짧아지는 경향이있다. 그러나 35℃에서는 더 이상 발생이 진행되지 않았다.

이상의 결과를 그림으로 나타냈을 때, 수온별 발생속도는 직선함수식적 관계였다(Fig. 17). Fig. 17의 X축은 수온, Y축은 시간의 역수를 나타내고 있으며, 각 발생단계별 소요시간(t : hour)과 수온(T : ℃)과의 관계식은 다음과 같다.

$$8\text{세포기} : 1/t = 0.0370 T - 0.2702 (R^2 = 0.8438)$$

$$\text{상실기} : 1/t = 0.0238 T - 0.2880 (R^2 = 0.9587)$$

$$\text{Kupffer씨포 출현기} : 1/t = 0.0062 T - 0.0843 (R^2 = 0.9387)$$

$$\text{부화자어기} : 1/t = 0.0024 T - 0.0303 (R^2 = 0.9781)$$

이들 관계식을 기초로 Y축의 값이 0일 때 회귀직선이 X축에 접하는 수온, 즉 초기발생에 있어서 난발생이 진행되지 않는 생물학적 영도(biological minimum temperature)는 평균 11.4℃이었다.

수온별 부화율, 정상부화율 및 기형률을 Fig. 18에 나타냈다. 부화율은 20, 24, 28 및 32℃ 실험구에서 각각 13.3, 92.0, 85.7 및 72.1%로서 24℃ 실험구에서 가장 높았으며, 20℃ 실험구에서는 12.3%로서, 다른 실험구와는 유의하게 낮았다(P<0.05). 부화된 자어중 기형개체의 출현 비율(기형률)은 부화율이 가장 낮은 20℃ 실험구에서 55.0%로서 가장 높았으며(P<0.05), 24, 28 및 32℃ 실험구에서는 각각 12.1, 17.1 및 22.1%로서 수온이 높아질수록

Table 14. Relationship between water temperature and time (hour) required to distinctive development stages from fertilization

Development stages	Water temperature				
	20℃	24℃	28℃	32℃	35℃
8-cell stage	2.3	1.40	1.25	1.15	0.55
Morula stage	5.20	3.30	2.50	2.20	dead
Appearance of Kupffer's vesicle	26.50	13.50	11.00	9.10	dead
Hatching	55.20	34.00	27.00	22.00	dead

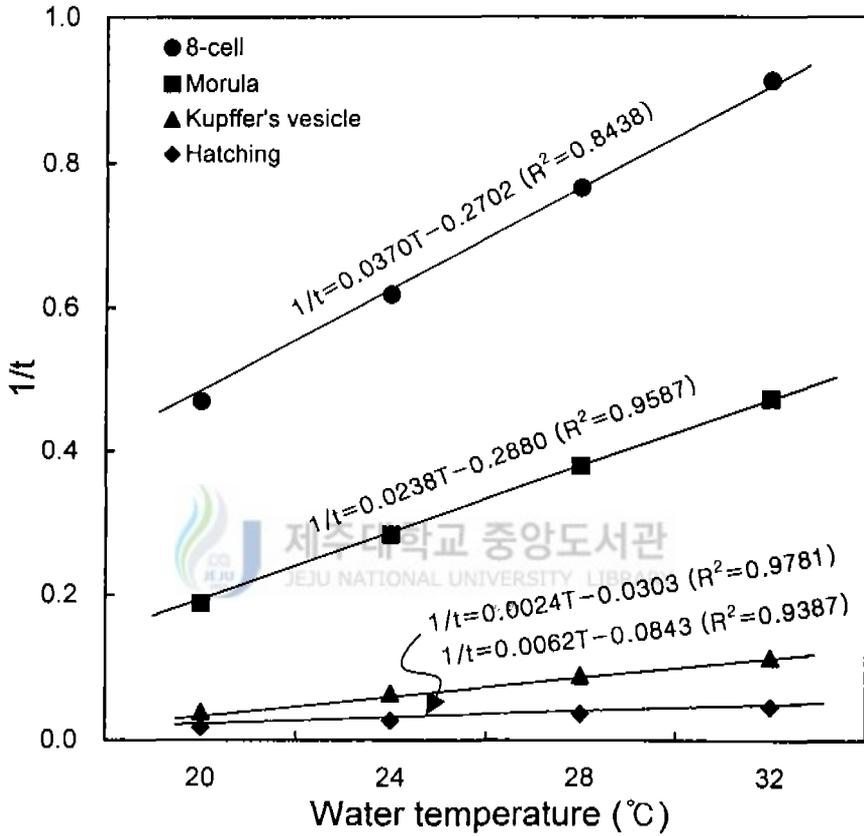


Fig. 17. Relationships between water temperature and time required to distinctive development stages after fertilization of *S. canaliculatus*.

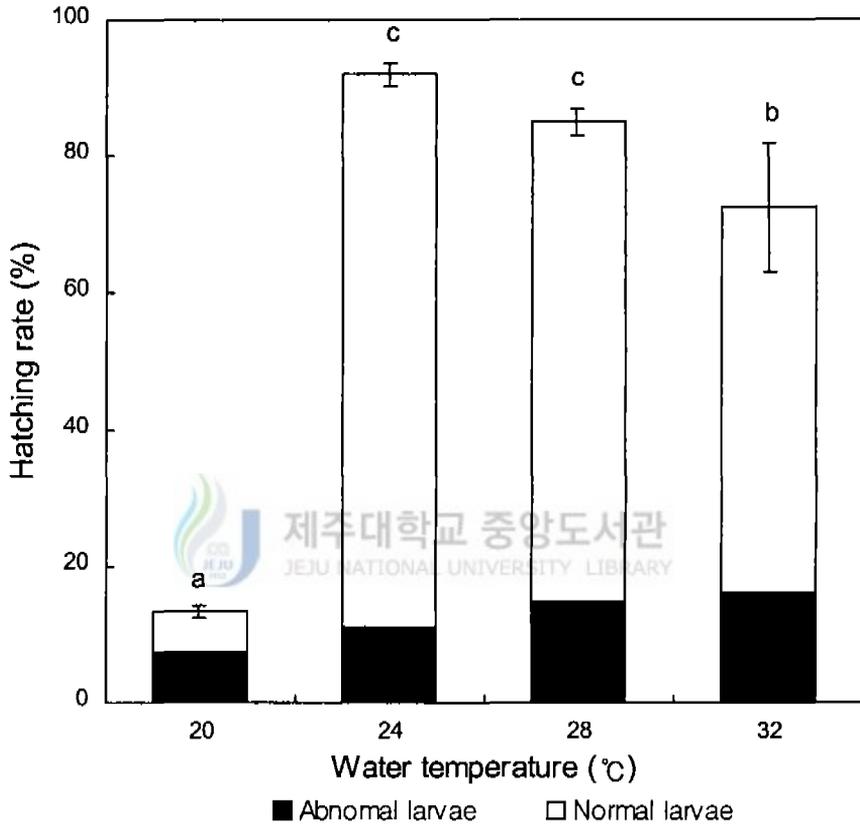


Fig. 18. Hatching rates of *S. canaliculatus* eggs at various water temperature. Different superscripts on the bars are significantly different ($P < 0.05$).

기형률이 점차 증가하는 경향이었으나 실험구간의 유의차는 나타나지 않았다($P>0.05$).

5) 자치어의 형태발달과 성장단계

(1) 전기 자어기

부화 직후의 자어는 전장이 1.73~2.41 mm(평균 2.03 mm)로서 척색은 곧게 뻗어 있으며 입은 아직 열려있지 않았다(Table 15). 난황은 타원형으로 전장의 약 1/4로서 평균 직경이 0.49 ± 0.09 mm이었으며, 크고 작은 2개의 유구(직경 0.10~0.25 mm)는 구형으로 난황의 전반부에 위치한다. 근절수는 $8+16=24$ 개였으며, 6~9 근절에 소화관이 관찰되었으나 항문은 아직 형성되지 않았다. 막지느러미는 머리의 앞쪽을 제외하고는 꼬리부분까지 몸 전체에 경계면을 감싸고 있었다. 가슴지느러미는 관찰되지 않았다. 흑색소포는 주로 머리 앞부분과 난황 표면에 흩어져 있었고, 일부 근절의 아래 부분에 수지상의 형태로 신발적으로 분포하고 있었다. 부화 자어는 수조 전체로 분산하여 유영하고, 머리를 아래쪽으로 향하고 정지상태를 유지하다가 순간적으로 저면을 향하여 빠르게 유영하는 행동을 하였다.

부화 2일째 자어의 전장은 2.4~2.9 mm였고, 입이 완전히 열렸으며, 난황은 대부분 흡수되었고, 곧이어 유구도 흡수되기 시작했다. 흑색소포는 눈, 머리의 전반부, 복부의 등쪽, 소화관(rectum)의 뒤쪽 위에서 항문 뒤쪽 근절 주변부에 까지 산재되어 있었다. 자어는 수조내에서 몸을 수평으로 하여 유영하고, 가끔씩 섭식 행동을 보였다.

(2) 후기 자어기

부화 4일째 자어의 평균 전장은 2.6 ± 0.16 mm이었고, 난황과 유구는 완전하게 흡수되었다. 척색(notochord)은 직선형으로서, 난황이 위치한 부분은

Table 15. Measurement of the newly-hatched *S. canaliculatus* larvae

	Range	Mean	Standard deviation
Total length (mm)	1.73~2.41	2.03	0.16
Body length (mm)	1.60~2.28	1.96	0.17
Preanal length (mm)	0.68~0.85	0.76	0.05
Body height (mm)	0.45~0.61	0.54	0.04
Long axis of yolk sac (mm)	0.30~0.41	0.35	0.03
Diameter of oil globule (mm)	0.10~0.25	0.15	0.05

난황이 흡수되면서 점차 끝나갔다. 등지느러미, 뒷지느러미 및 꼬리지느러미는 아직 분화되지 않았지만, 가슴지느러미는 발달하기 시작하였다. 흑색소포는 소화관 위쪽으로 보다 농밀하게 산재하고 있었으며, 근절을 따라 복부쪽으로도 산재되어 있었다. 자어는 활발하게 섭식 행동을 보여 소화관 내에서 굴 유생과 rotifer가 일부 관찰되었으며, 밝은 빛에 모이는 행동이 나타났다. 이 시기는 난황을 흡수하고 외부로부터 영양을 직접적으로 공급 받아야 하기 때문에 입 크기가 소형인 자어는 적당한 크기의 먹이를 섭식할 수 없을 때 대량폐사가 발생하는 위험기(critical period)에 직면한다.

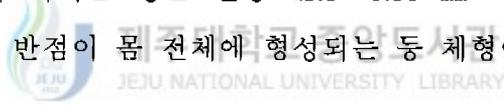
부화 9일째 자어는 평균 전장 4.3 ± 0.45 mm였으며, 체형이 넓어졌고, 머리는 커졌으며(전장의 약 20%), 척색은 여전히 직선형이다(Fig. 19B). 전새개골(preoperculum) 앞쪽에 2개의 무딘 가시와 바깥쪽으로 4개의 가시가 나타나면서 아가미 뚜껑이 형성되어 갔다. 등지느러미에 1개의 극이 돌출하고, 가슴지느러미 아래쪽으로 배지느러미 가시의 원기가 출현하였다. 복강 위 벽을 따라서 항문까지 흑색소포가 더욱 많이 침착되어 있으며, 근절을 따라서 배쪽으로 꼬리자루까지 길게 산재되어 있던 흑색소포는 그 수가 5~6개로 줄어들었으나 크기는 더 커졌다.

부화 15일째 자어는 평균 전장 9.2 ± 1.38 mm였고, 체고와 체폭이 더욱 늘어났으며, 척색 끝의 굴곡이 완료되었다(Fig. 19E). 막지느러미는 등, 뒷, 꼬리지느러미로 각각 분화되었다. 등지느러미는 극조 10~12개, 연조는 7~8개였고, 뒷지느러미는 극조 와 연조 모두 6개였고, 꼬리지느러미 연조는 15~19개로 관찰되었다. 제 2등지느러미와 가슴지느러미 외측 극조는 몸 앞쪽 연변부를 따라 톱니모양으로 되었다. 이 때부터 일부 큰 개체들은 군집행동에 접어들었다. 또한 상대방을 추적하는 행동을 취하기도 하고, 종종 다른 자어의 꼬리부분을 공격하는 공식현상이 이때부터 관찰되었다.

(3) 치어기

부화 20일째부터는 평균 전장 14.2 ± 1.46 mm로서 등지느러미 극조 수는 12~13개, 연조 수는 9~10개였으며, 뒷지느러미의 극조 수는 6~7개, 연조 수는 8~9개로서 각 지느러미의 극조 수와 연조 수가 성어에서와 거의 유사하였다(Fig. 19G). 또한 등지느러미 제 2 극과 배지느러미 제 1 극은 길게 신장되었다. 흑색소포는 더욱 넓게 몸 전체에 발달하여 아가미 뚜껑과 눈 주위, 체표, 등지느러미와 뒷지느러미의 기저 부위에 산발적으로 또는 밀집하여 분포하였다. 흑색소포와 함께 황색 소포도 눈, 아가미뚜껑 및 복부에 산발적으로 출현하였다. 치어기에 가까워지면서 어미에서 처럼 수조의 중저층을 따라 군집행동을 하면서 섭식을 위해 활발하게 수영하였다.

부화 30일째에는 평균 전장 29.3 ± 0.21 mm로서 각 지느러미의 극조와 연조 수는 어미와 같이 완전하게 정수에 도달하여 치어기로 되었다(Fig. 19J). 부화 40일째 치어는 평균 전장 43.3 ± 0.36 mm로서, 체고가 넓어지고 종 특유의 회백색 반점이 몸 전체에 형성되는 등 체형이 성체와 거의 유사해졌다(Fig. 19M).



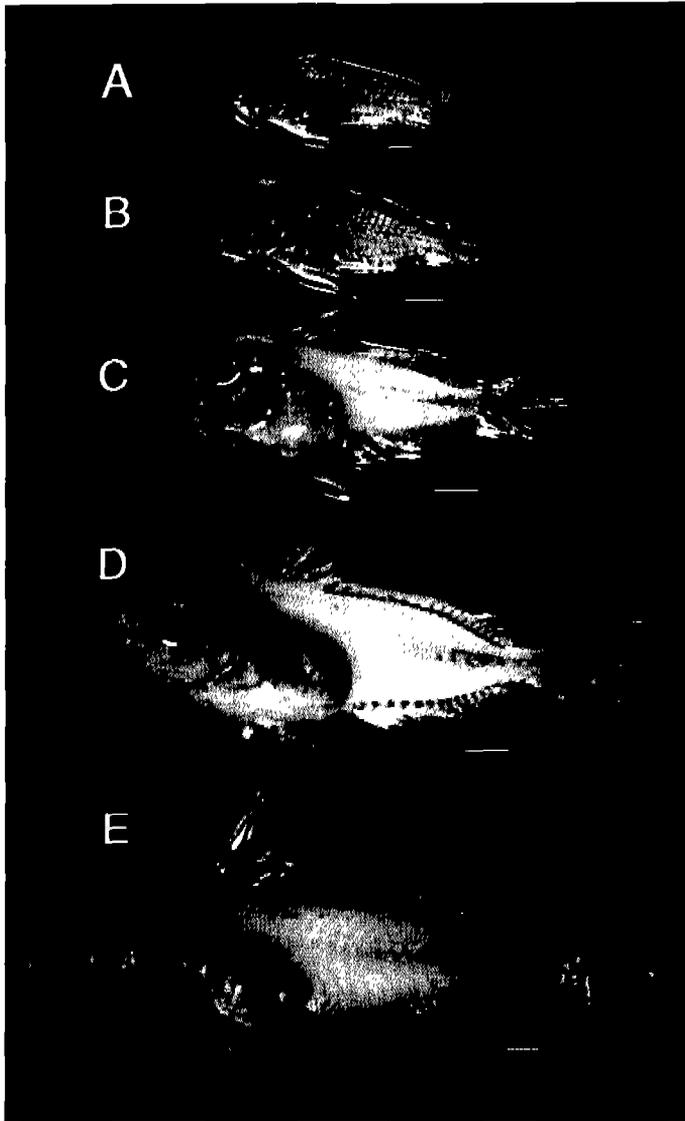


Fig. 19. Larval development of *S. canaliculatus* reared for 60 days.

- A : 7 days after hatching, 3.8 mm in TL;
- B : 9 days after hatching, 4.3 mm in TL;
- C : 11 days after hatching, 5.7 mm in TL;
- D : 13 days after hatching, 6.6 mm in TL;
- E : 15 days after hatching, 9.2 mm in TL.

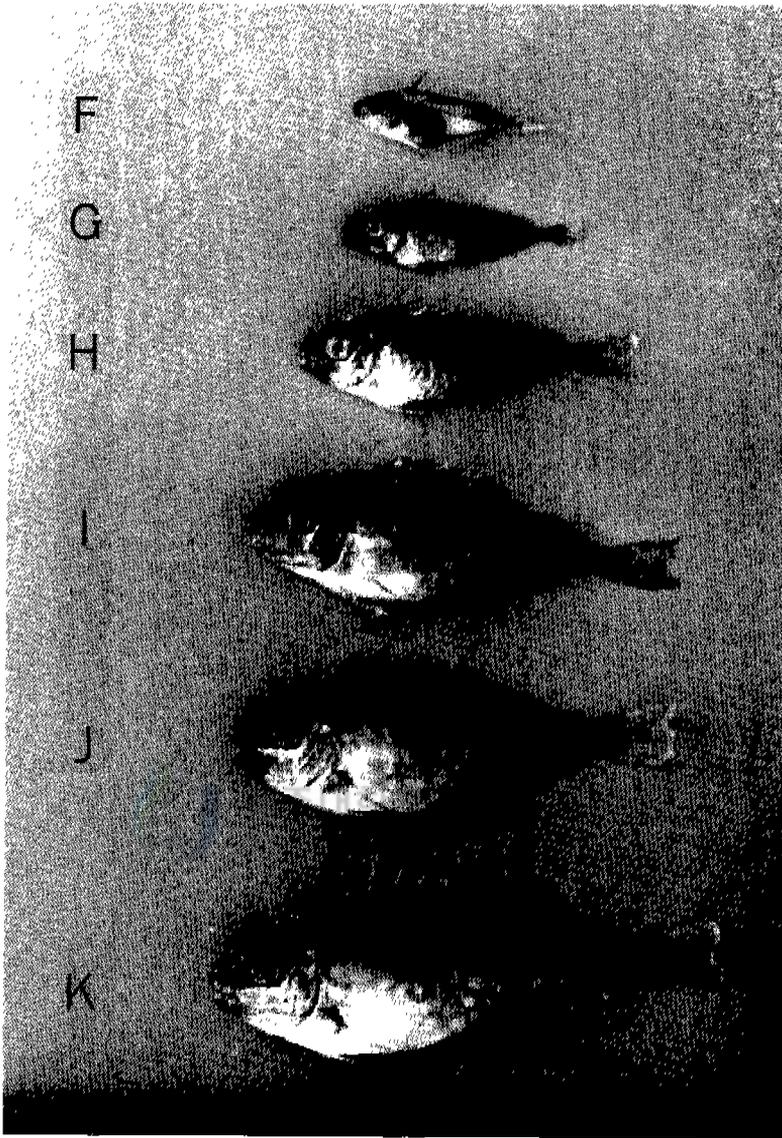


Fig. 19. Continued.

- F : 17 days after hatching, 12.9 mm in TL;
- G : 20 days after hatching, 14.2 mm in TL;
- H : 22 days after hatching, 17.5 mm in TL;
- I : 25 days after hatching, 24.3 mm in TL;
- J : 30 days after hatching, 29.3 mm in TL;
- K : 33 days after hatching, 33.3 mm in TL;
- L : 36 days after hatching, 36.4 mm in TL;
- M : 40 days after hatching, 43.3 mm in TL.

3. 종묘생산

1) 수정란 및 자어의 염분내성

(1) 부화시간과 부화율

수온 25℃에서 염분농도에 따른 수정란의 부화시간은 Table 16에 나타내었다. 15~33‰ 실험구에서는 27.0~27.4시간으로 큰 차이가 없는 반면 ($P>0.05$), 35~37‰구 범위에서는 25.5~26.4시간으로 다른 시험구와는 유의하였으며($P<0.05$), 염분농도가 높아질수록 부화시간은 상대적으로 빨라지는 경향이였다.

자연산란에 의한 수정란의 부화율 및 기형률은 Fig. 20과 같다. 염분농도가 10‰로 설정된 실험구의 수정란은 난막이 붕괴되고, 발생 중에 전부가 폐사하였다. 염분 15‰의 저염분 실험구에서는 57.9%로 다른 실험구에 비해 유의하게 낮았으며($P<0.05$), 25~37‰ 실험구 사이에서는 71.5~81.5%로서 비교적 높아 유의차이가 인정되지 않았다($P>0.05$). 한편, 기형률에 있어서는 부화율이 저조한 15‰ 실험구에서 24.5%로 가장 높았으며($P<0.05$), 30‰ 실험구에서 가장 낮았다. 따라서 부화율은 저염분 실험구에서 고염분 실험구로 갈수록 비교적 높았으며, 기형률은 가장 높거나 낮은 염분 실험구에서 비교적 높았다.

호르몬 주사에 의한 수정란의 부화율과 기형률은 Fig. 21과 같다. 저염분 실험구인 15‰과 20‰구에서 부화율은 각각 46.0%와 56.1%로서, 25~37‰ 실험구의 67.4~76.7%에 비해 유의하게 낮았다($P>0.05$). 또한 기형률은 15‰ 실험구(28.4%)와 37‰ 실험구(25.2%)에서 다른 실험구에 비해 높았으며($P<0.05$), 20~35‰에서는 8.3~12.9% 범위였다. 따라서 부화율이 양호하게 나타난 30~35‰ 실험구에서 비정상 개체의 출현비율도 낮았다. 이러한 결과를 토대로 자연산란과 호르몬주사에 의해 채란한 수정란의 부화율을 비교해 본 결과, 전 실험구에서 자연산란에 의해 채란한 수정란에서 부화율이 높았지만, 유의차는 인정되지 않았다($P>0.05$).

Table 16. Time to reach hatching of *S. canaliculatus* eggs stocked at different salinities

Salinity (‰)	Time to reach hatching (hours after fertilization)
15	27.4±0.3 ^c
20	27.3±0.1 ^c
25	27.3±0.1 ^c
30	27.0±0.2 ^c
33	27.1±0.2 ^c
35	26.4±0.4 ^b
37	25.5±0.2 ^a

Different superscript in the same column mean significantly different (P<0.05).

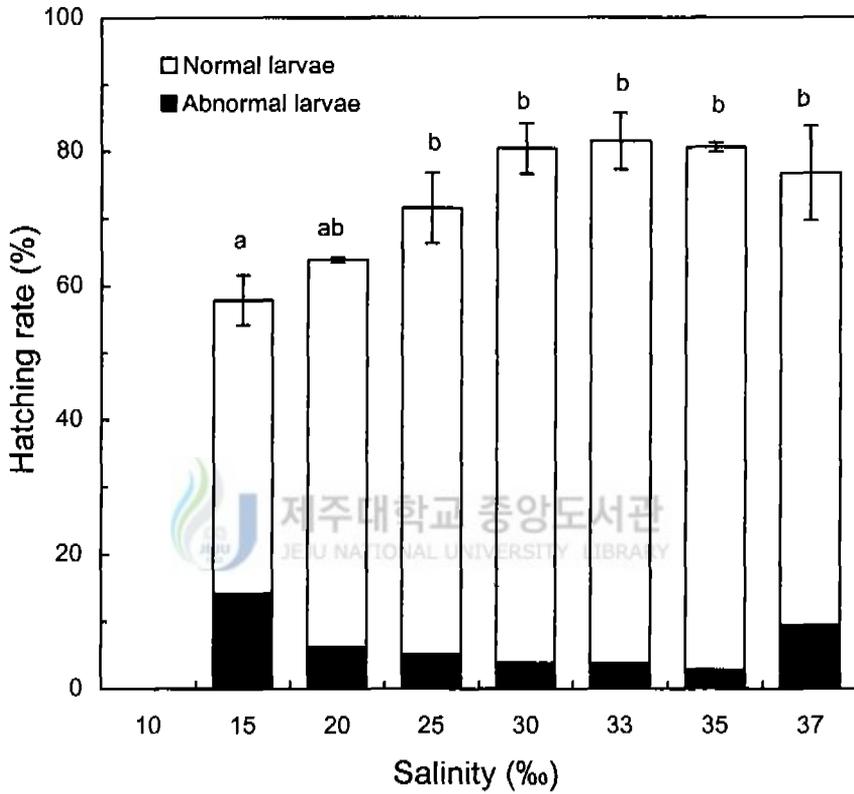


Fig. 20. Hatching rates of the naturally spawned eggs of *S. canaliculatus* at various salinity levels. Different superscripts on the bars are significantly different ($P < 0.05$).

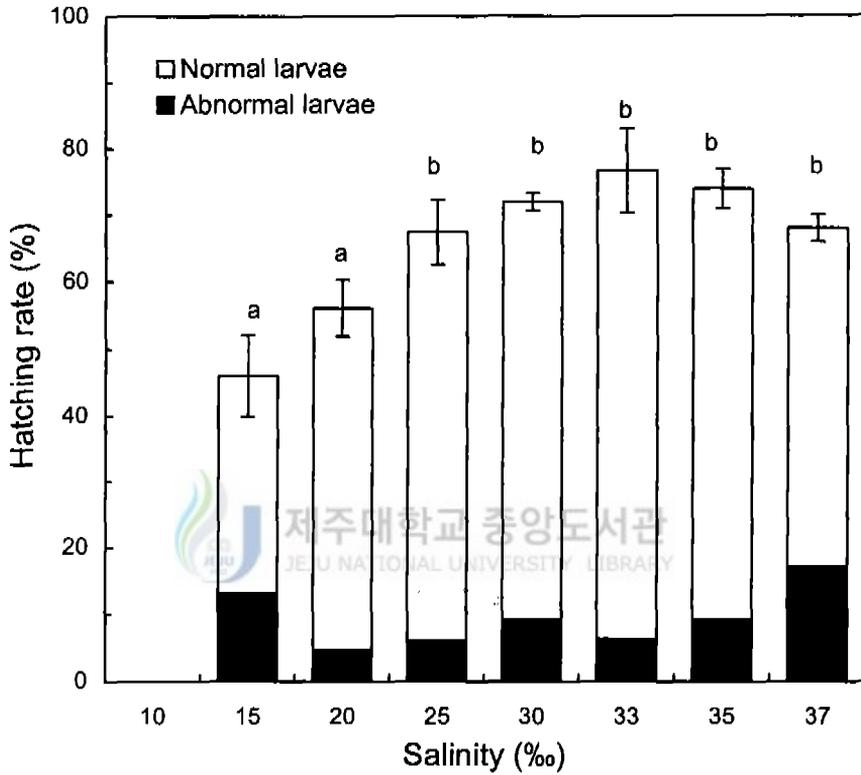


Fig. 21. Hatching rates of the hormonally induced eggs of *S. canaliculatus* at various salinity levels. Different superscripts on the bars are significantly different ($P < 0.05$).

(2) 자어의 전장과 난황 용적

염분농도별 부화 자어의 전장과 난황 용적의 변화는 Table 17과 같다. 부화 자어의 평균전장은 15% 실험구에서 2.40 ± 0.08 mm로서 최고치였으며, 점차 고염분 실험구로 갈수록 전장은 감소하여 35% 실험구에서는 2.25 ± 0.18 mm 였고, 37% 실험구에서는 2.11 ± 0.07 mm로서 다른 실험구에 비해 낮았다($P < 0.05$).

부화자어의 난황용적은 저염분구인 15% 실험구 (0.025 ± 0.029 mm³)에서 부화된 자어에서 가장 컸으며, 염분농도가 증가함에 따라 감소하여 37% 실험구 (0.009 ± 0.003 mm³)에서 가장 낮았다. 그러나 이들 염분농도에 따른 난황 용적의 차이는 나타나지 않았다($P > 0.05$).

(3) 자어의 생존

무급이 상태에서 염분농도별 자어의 생존율의 변화는 Fig. 22와 같다. 염분농도가 15% 및 37% 실험구에서는 부화 후 72시간 만에 전량 폐사하였으며, 25%과 30% 실험구에서도 부화 후 계속적인 폐사로 84시간 만에 전량 폐사하였다. 생존율이 가장 높았던 35% 실험구는 부화 후 108시간 만에 전량 폐사하였다. 경과시간에 따른 생존율은 부화 직후부터 급격한 폐사가 발생하여 부화 24시간 후에 15~35% 실험구에서 61~69%였으며, 고염분구인 37% 실험구에서는 46%로서 가장 낮았다. 부화 48시간 후 생존율은 15, 20, 25, 30, 33 및 35% 실험구에서 각각 18, 30, 19, 27, 26 및 46%였으나, 고염분구인 37% 실험구에서는 9%로서 높은 염분농도에서 사망이 가속되었다. 자어의 반수치사시간(LT₅₀)은 15~35%에서는 약 32~37시간째에 나타났고, 37% 실험구에서는 약 20시간으로 가장 짧았다.

Table 17. Total length and yolk volume of *S. canaliculatus* larvae hatched at different salinities under $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ (Mean \pm SD)

Salinity (%)	Total length (mm)	Yolk volume (mm ³)
15	2.40 ± 0.09	0.025 ± 0.012
20	2.38 ± 0.06	0.017 ± 0.013
25	2.38 ± 0.11	0.014 ± 0.006
30	2.35 ± 0.06	0.014 ± 0.008
33	2.32 ± 0.09	0.013 ± 0.005
35	2.25 ± 0.18	0.011 ± 0.005
37	2.11 ± 0.07	0.009 ± 0.004

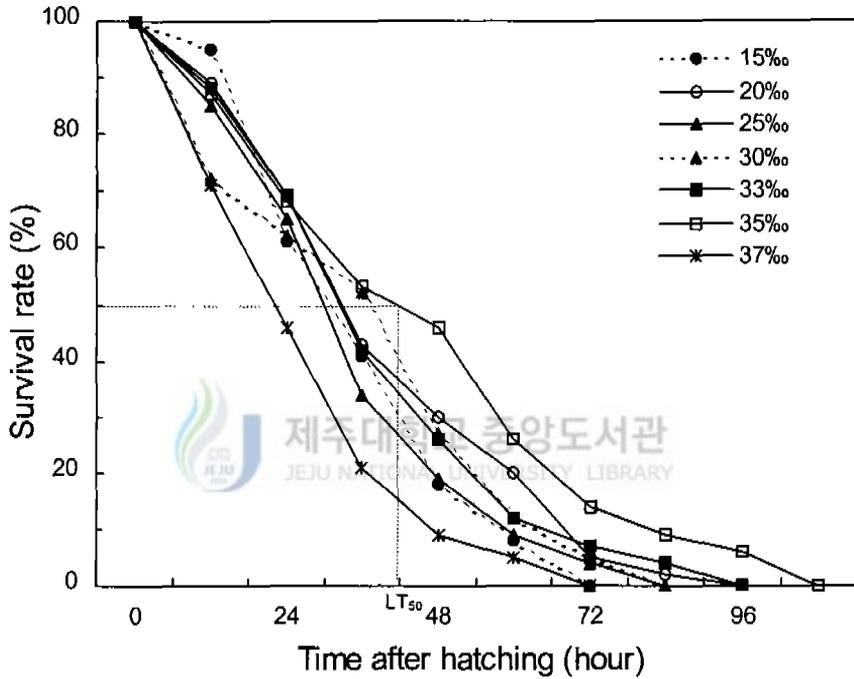


Fig. 22. Survival rate of the newly-hatched larva of *S. canaliculatus* starved at different salinities.

2) 최초 먹이 공급시기의 결정

(1) 난황흡수 및 개구 시간

수온별 난황 흡수 시간을 조사하기 위해 수온 23, 26, 29 및 32℃로 설정된 실험구에서 경과시간에 따른 부화자어의 난황, 유구 흡수율, 부화자어의 전장 변화는 Fig. 23과 같다. 난황흡수율의 경우, 부화 후 24시간째 자어의 난황용적 비율은 수온 23, 26, 29 및 32℃ 실험구에서 각각 23.6, 12.9, 17.7 및 18.0%였고, 48시간째는 각각 12.2, 2.9, 1.6 및 1.4%로서 부화 후 48시간 이내에 87.8~98.6%의 난황이 흡수되었다. 따라서 26~29℃ 실험구에서는 약 56시간 내에 난황이 완전히 흡수되었으며, 저수온구인 23℃ 실험구에서는 62시간내에 난황 흡수가 완료되어, 수온이 높을수록 난황흡수는 빨라지는 경향이였다.

유구 흡수율의 경우, 부화 후 24시간째 유구용적 비율은 수온 23, 26, 29 및 32℃ 실험구에서 각각 33.0, 21.4, 19.7 및 18.2%였고, 부화 후 48시간째는 각각 12.8, 3.0, 1.7 및 1.9%였다. 따라서 26~32℃ 실험구에서는 부화 후 약 48시간 이내에 97%의 유구가 흡수되었고, 23℃에서는 약 87%가 흡수되었다. 또한, 26~32℃ 실험구에서는 약 63시간 내에 유구가 완전하게 흡수되었으며, 저수온구인 23℃ 실험구에 있어서는 약 72시간 내에 유구 흡수가 완료되는 것으로 보아, 유구에 있어서도 난황과 마찬가지로 수온이 높으면 높을수록 흡수율은 상대적으로 빨라지는 경향이였다.

난황과 유구의 흡수기간중 자어의 전장은 부화직후 2.23 mm, 부화 후 12시간에 2.33~2.63 mm, 부화 후 48시간에 2.80~2.88 mm로 성장하였다. 부화 후 24~48시간에는 모든 실험구에서 전반적으로 완만하게 성장하였다가, 부화 후 48시간부터는 23℃ 실험구를 제외하고는 전장이 감소하는 경향이였다.

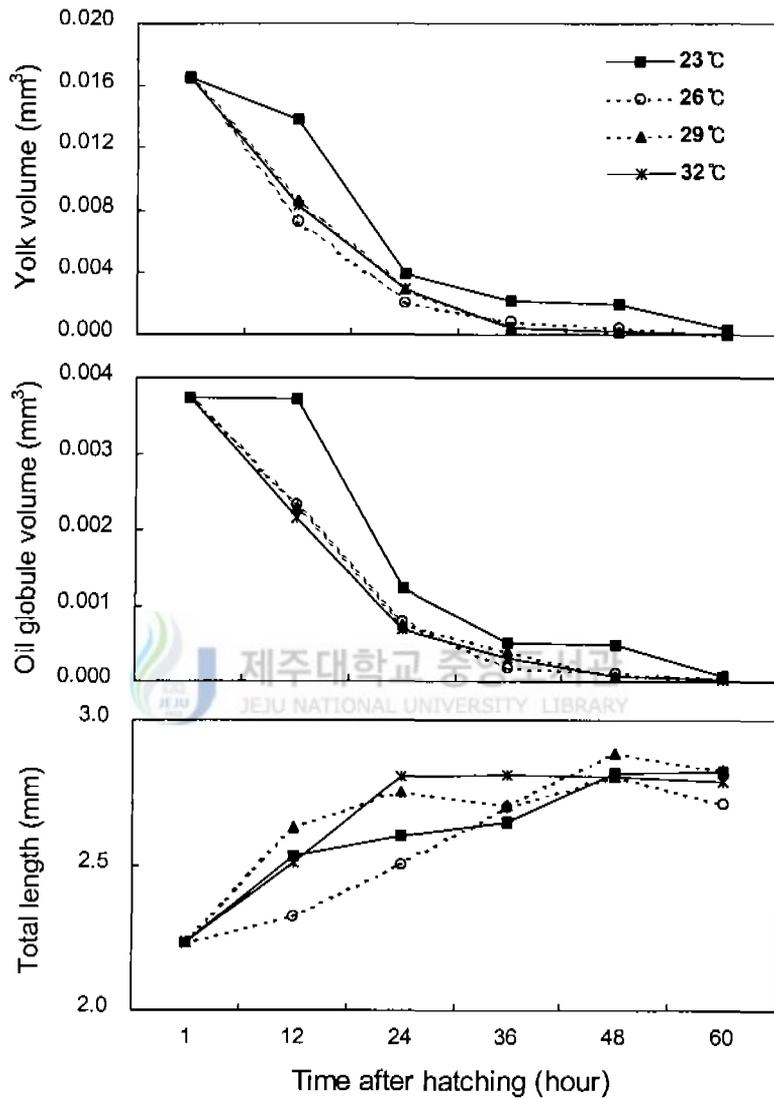


Fig. 23. Resorptions of yolk and oil globule, and total length of *S. canaliculatus* larvae reared in various water temperatures.

각 실험구에서 부화직후의 자어가 개구시까지 소요된 시간은 각각 51.8 ± 2.1 , 39.9 ± 1.6 , 37.1 ± 0.9 및 33.2 ± 1.7 시간으로서, 수온별 자어의 개구시간은 저수온구인 23°C에서 가장 길었고, 점차 고수온구로 갈수록 짧아졌다. 그리고 수온(WT)에 따른 개구시간(MOT)과의 관계는 $MOT = 2861.1WT^{-1.2918}$ ($R^2 = 0.9438$)였다(Fig. 24).

(2) 전장과 입 크기의 관계

부화자어의 입 크기 및 전장의 변화는 Table 18과 같다. 부화 후 72시간까지는 0.103~0.117 mm로 큰 차이는 없었지만, 부화 후 84시간, 96시간, 108시간 및 120시간째에는 각각 0.127 ± 0.011 mm, 0.136 ± 0.021 mm, 0.143 ± 0.012 mm 및 0.144 ± 0.015 mm로서 상악장이 점진적으로 증가하는 경향이였다. 입 크기는 Shirota (1970)의 방법에 따라 자어의 개구각 90°, 45°, 0°를 각각 100, 50, 0%의 개구율로 가정할 때 개구율이 75%, 50%일때의 입 크기를 각각 0.75d, 0.5d로 구하였다. 그 결과 먹이를 섭취하기 시작하는 부화 후 72시간부터 120시간까지 자어의 입 크기 d는 0.166~0.206 mm, 0.75d는 0.125~0.155 mm, 0.5d는 0.083~0.103 mm이었다. 이 기간동안 자어의 전장은 부화 72시간까지는 2.67~2.79 mm로 비슷한 경향이였으나, 부화 후 84~120시간까지는 3.09~3.46 mm로서, 전장도 상악장의 크기 변화와 마찬가지로 부화 후 84시간째부터 점차 증가하는 경향이였다.

(3) 최초 먹이 섭취

부화자어의 최초 먹이섭취는 난황의 흡수가 거의 완료된 시점인 부화 후 62시간째 관찰되었다. 즉, 이때 자어의 소화관의 내용물을 분석해 본 결과, 부화 2일째부터 공급하기 시작한 바윗굴의 trochophore 유생을 섭취하였고, 약 3.0%의 자어가 먹이를 섭취하였다. 그 후 난황과 유구가 완전히 흡수된

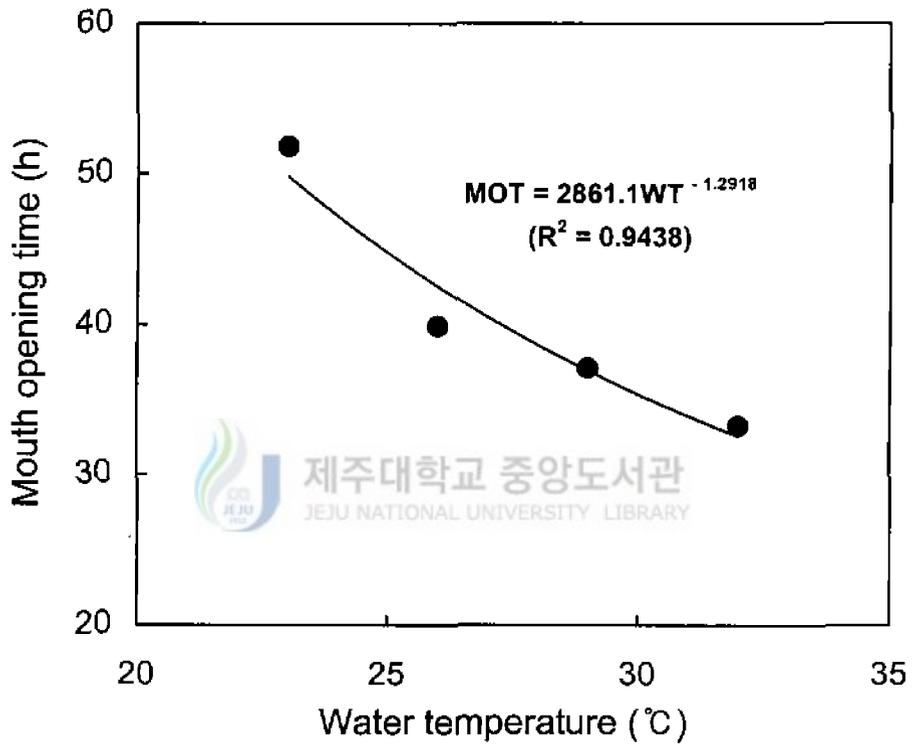


Fig. 24. Mouth opening time (MOT) after hatching of *S. canaliculatus* larvae on different water temperatures (WT).

Table 18. Variations of mouth length of *S. canaliculatus* larvae during the prelarval stage

Hours after hatching	TL(cm) (Mean ± SD)	Upper jaw length (mm) (Mean ± SD)	Calculated mouth length (mm)		
			d*	0.75d	0.5d
48	2.67 ± 0.19	0.103 ± 0.009	0.146 ± 0.012	0.110	0.073
60	2.81 ± 0.17	0.118 ± 0.016	0.166 ± 0.023	0.125	0.083
72	2.79 ± 0.31	0.117 ± 0.025	0.166 ± 0.035	0.125	0.083
84	3.09 ± 0.13	0.127 ± 0.011	0.180 ± 0.016	0.135	0.090
96	3.20 ± 0.21	0.136 ± 0.021	0.193 ± 0.030	0.145	0.097
108	3.34 ± 0.24	0.143 ± 0.012	0.203 ± 0.017	0.152	0.102
120	3.46 ± 0.22	0.144 ± 0.015	0.206 ± 0.019	0.155	0.103

* $\sqrt{2} \times$ upper jaw length.

부화 후 72시간째에는 약 25.5%의 자어의 소화관에서 trochophore 유생이 발견되었다. 또한 자어의 소화관내에서 rotifer가 최초로 발견된 시점은 부화 후 약 96시간이었고, 이때 약 5.5%의 자어가 rotifer를 섭식하였으며, 성장과 더불어 섭식량은 급격히 증가하였다.

이러한 결과를 종합하여 자연수온 조건하에서 먹이를 공급한 실험구와 절식 상태에서 자어의 개구시기는 부화 후 약 38시간이었고, 최초 먹이섭취시기는 부화 후 약 62시간째 였으며, 난황 및 유구 흡수 시기는 각각 60, 64시간이었다(Fig. 25).

자어의 생존율은 먹이 공급구에서는 부화 후 48, 72, 96 및 120시간에 각각 78.2, 58.6, 18.5 및 7.5%였으나, 먹이를 공급하지 않은 실험구에서는 48, 72시간째 각각 80.2, 14%, 96시간째에는 0%로서 전량 폐사하였다. 이러한 결과는 난황을 영양으로 하는 초기에는 생존율에 큰 차이가 없었으나, 난황이 흡수되는 부화 후 60시간째부터는 자어의 사망률이 급격히 높아져 부화 후 96시간째에 전량 폐사하였다.



3) 자치어의 성장과 생존율

(1) 기아시 생존에 미치는 수온의 영향

절식 상태에서 수온에 따른 자어의 성장과 생존율을 비교한 결과는 Fig. 26과 같다. 수온 23, 26, 29 및 32℃ 실험구에서 생존율은 부화 12시간째에는 90.7~98.0%로서 수온에 따른 뚜렷한 차이는 없었으나, 24시간째부터는 자연수온에 근접한 26℃ 실험구에서 94.7%로 가장 높은 생존율을 보였고, 고수온구인 32℃ 실험구에서는 69.3%로 가장 낮았다. 48시간 경과시 무급이 상태에서 수온별 생존율은 6.7~80.0%로서, 26℃ 실험구에서 가장 높았으며, 고수온구인 32℃ 실험구에서 가장 낮았다. 60시간째부터는 대부분의 자어에서 난황이 완전하게 흡수되면서 사망이 급격하게 증가되어, 32℃

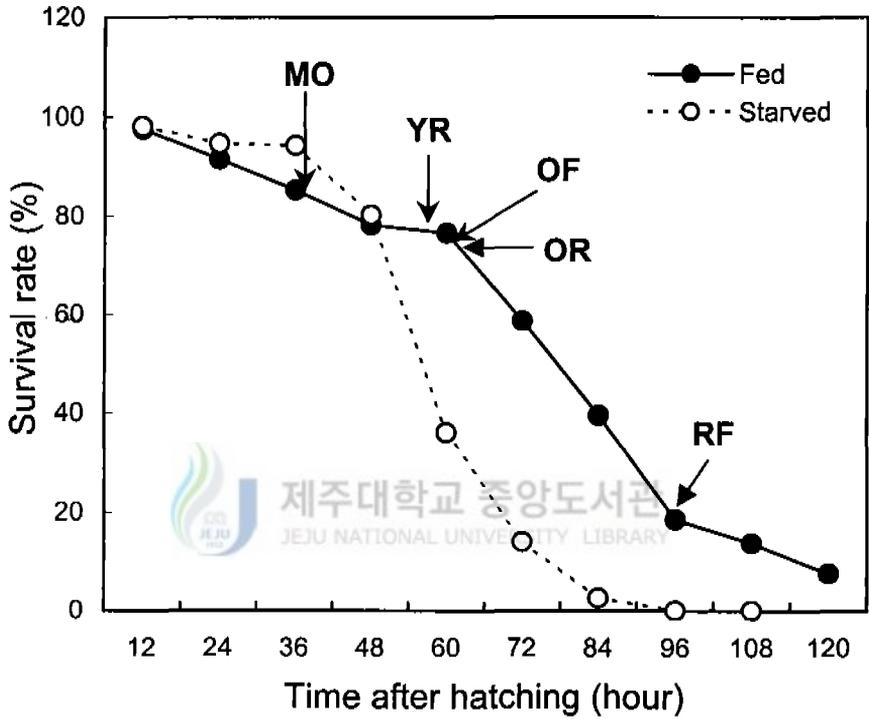


Fig. 25. Feeding and survival rate of *S. canaliculatus* larvae in fed or starved condition from hatching to 5 days. MO : mouth opening; YR : yolk resorption; OR : oil globule resorption; OF : onset feeding; RF : rotifer feeding.

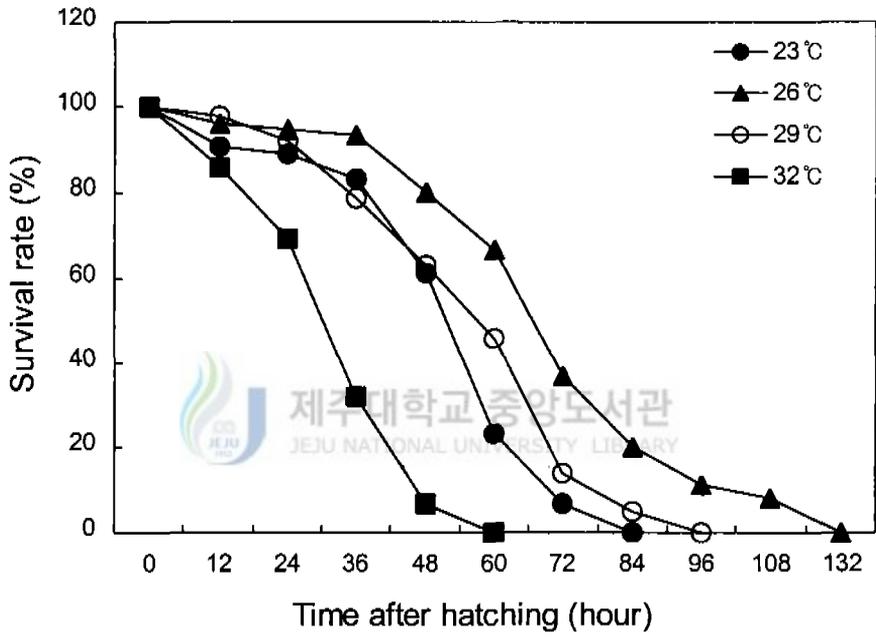


Fig. 26. Comparison of survivals of the newly-hatched *S. canaliculatus* starved at different temperatures.

실험구에서는 이때 전량 사망하였으나, 26℃ 실험구에서는 66.7%로 비교적 높은 생존율을 보여 대조를 이루었다. 최종적으로 23℃ 및 29℃ 실험구에서는 각각 84시간, 96시간째에 자어가 전량 사망하였고, 실험 기간중 생존율이 가장 높았던 26℃ 실험구는 132시간째 전량 사망하였다.

부화자어의 절식 생존지수(SAI, survival activity index)는 Fig. 27과 같이 23~32℃ 범위에서 1.5~4.1로서, 자연수온과 비슷한 26℃ 실험구에서 4.1로 가장 양호하였으며, 고수온구인 32℃에서 1.5로 가장 낮아 다른 실험구와의 유의차가 인정되었다($P < 0.05$).

(2) 먹이 계열에 따른 초기 생존

현점독가시치 자어의 사육 기간중 먹이 계열별 초기 생존율은 Fig. 28과 같다. 각 실험구별 생존율은 전 실험구에서 부화 후 2일까지는 85%를 상회하였으나, 부화 후 3일째 생존율은 A, B, C 실험구에서 각각 41.5, 71.6 및 62.3%로서 실험구 사이에서 큰 차이가 있었다. 난황 흡수가 완료되는 부화 후 4일째부터는 각 실험구 간에 생존율은 8.3~15.0% 범위였으며, 부화 1일째부터 참굴의 trochophore 유생 및 소형 rotifer를 혼용 공급한 B 실험구에서 생존율이 가장 양호하였다. A 실험구와 C 실험구에서의 자어는 첫 먹이 섭식에 실패하여, 각각 부화 6일과 5일째 전량 폐사하였으나, B 실험구에서는 부화 후 10일째까지의 생존율은 평균 3.3%였다.

(3) 자치어의 성장과 생존율

부화 후 30일간 사육한 자치어의 성장 및 생존 결과는 Table 19, Fig. 29와 같다. 부화 1일째 자어의 크기는 전장 2.36 ± 0.12 mm였으며, 부화 10일 경과하였을 때의 자어의 평균 전장, 체장 및 체중은 각각 4.11 ± 0.49 mm, 3.82 ± 0.47 mm 및 2.0 mg이었다. 부화 후 20일째 평균 전장, 체장 및 체중

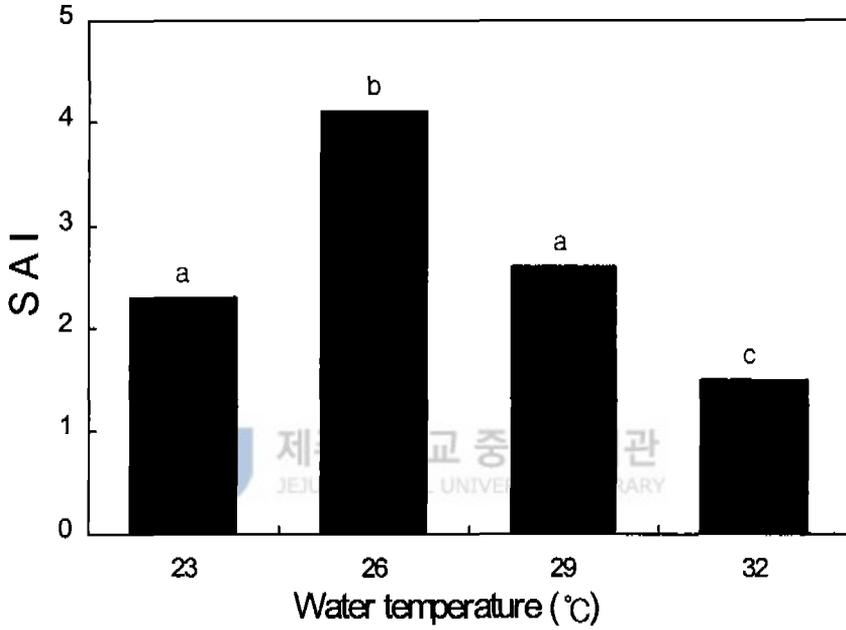


Fig. 27. Comparison of survival activity index (SAI) of the newly-hatched *S. canaliculatus* larva starved at different water temperatures. Different superscripts on the bars are significantly different ($P < 0.05$).

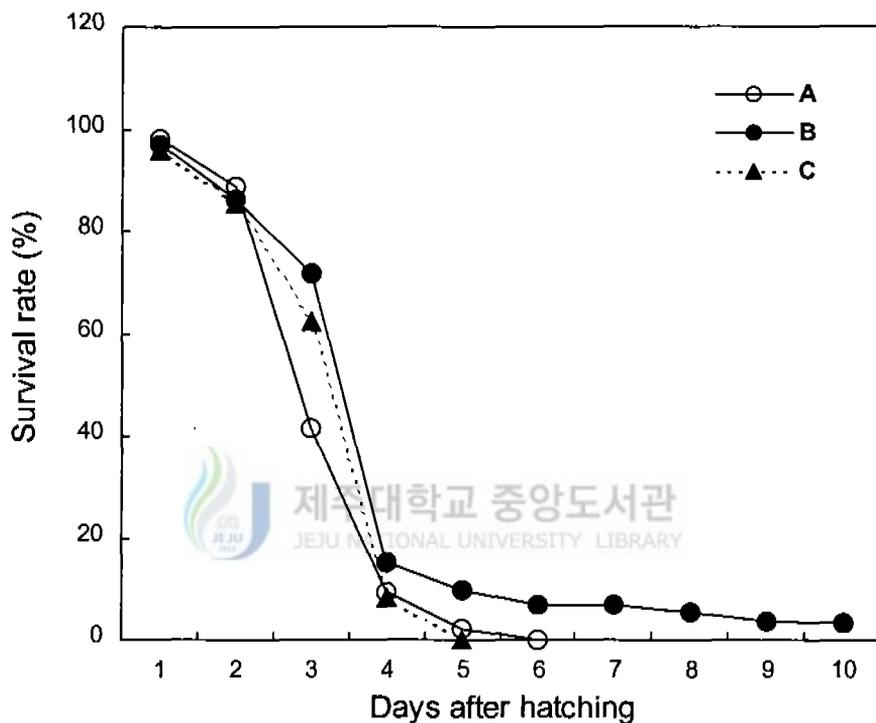


Fig. 28. Comparison of survival rates of *S. canaliculatus* larvae reared at different feeding regimes. A : *B. plicatilis* + *N. oculata*; B : Oyster trochophore + *B. rotundiformis* + *N. oculata*; C : Ciliata + Diatom + *B. rotundiformis*.

은 각각 13.30 ± 2.00 mm, 11.36 ± 1.87 mm 및 30.0 ± 15.0 mg이었다. 실험종료 일인 부화 후 30일 경과시의 성장은 평균 전장 29.00 ± 2.31 mm, 평균 체장 25.11 ± 2.51 mm 이었고, 평균 체중은 160 ± 54.5 mg으로 성장하였다. 사육기간 동안 자어의 성장률은 부화 10일까지의 순간 성장률은 3.1~8.6 범위였고, 부화 25일부터 30일까지는 7.2~8.4 범위였는데, rotifer, *Artemia*, 배합 사료를 혼합 급이한 15일부터 20일까지의 순간 성장률은 10.5~13.0으로 사육기간 중 가장 높았다.

자치어의 생존율은 부화 직후부터 난황이 완전히 흡수하는 부화 3~5일 사이에 전체 사육량의 70~80%가 사망하여 초기 생존율이 극히 저조하여, 10일 경과시까지 자어의 평균 생존율은 7.5%로서 초기에 대량으로 폐사하였다. 그리고 부화 20일째 평균 생존율은 4.5%로 낮아진 다음, 그 이후부터는 많은 폐사는 없었다. 실험종료시인 부화 30일까지의 평균 생존율은 2.8%였다.

자치어 사육 기간 동안 전장에 대한 체장, 체고 및 체중의 상대 성장 관계는 Fig. 30과 같다. 부화 직후 자어에서 평균 전장 29 mm 내외의 치어에 이르기까지 환점독가시치 전장(TL)에 대한 체장(BL), 체고(BH), 체중(BW), 두장(HL)의 상대성장은 각각 $BL = 0.8565 TL + 0.0852$ ($R^2 = 0.9996$), $BH = 0.3207 TL - 0.5052$ ($R^2 = 0.9641$), $BW = 0.0652 TL^{2.3508}$ ($R^2 = 0.9925$), $HL = 0.2595 TL - 0.1898$ ($R^2 = 0.9901$)의 회귀 관계식으로 표시되었다.

Table 19. The changes of total length (TL), body length (BL), body height (BH), body weight (BW) (Mean±SD) and specific growth rate (SGR) of *S. canaliculatus* larvae and fry during 30 days after hatching

Time after hatchig (day)	TL (mm)	BL (mm)	BH (mm)	BW (mg)	SGR* (%)	Survival (%)
1	2.36±0.12	1.99±0.62	0.55±0.03		7.01	85.00
5	2.67±0.14	2.45±0.14	0.57±0.04	0.9	3.09	18.20
10	4.11±0.49	3.82±0.47	0.87±0.16	2.0	8.63	7.52
15	6.94±0.60	6.02±0.50	1.77±0.14	5.0±0.9	10.48	4.55
20	13.30±2.00	11.36±1.87	3.51±0.59	30±15	13.01	3.31
25	19.07±2.05	16.18±1.96	4.43±0.56	80±33	7.21	2.80
30	29.00±2.31	25.11±2.51	9.63±1.42	160±54	8.38	2.80

* Specific growth rate (%/day) = $(\log_e L_{t_x} - \log_e L_{t_0}) / (t_x - t_0) \times 100$

L_{t_x} = Final mean total length at time t_x

L_{t_0} = Initial mean total length at time t_0

t_x = Final time (days)

t_0 = Initial time (days)

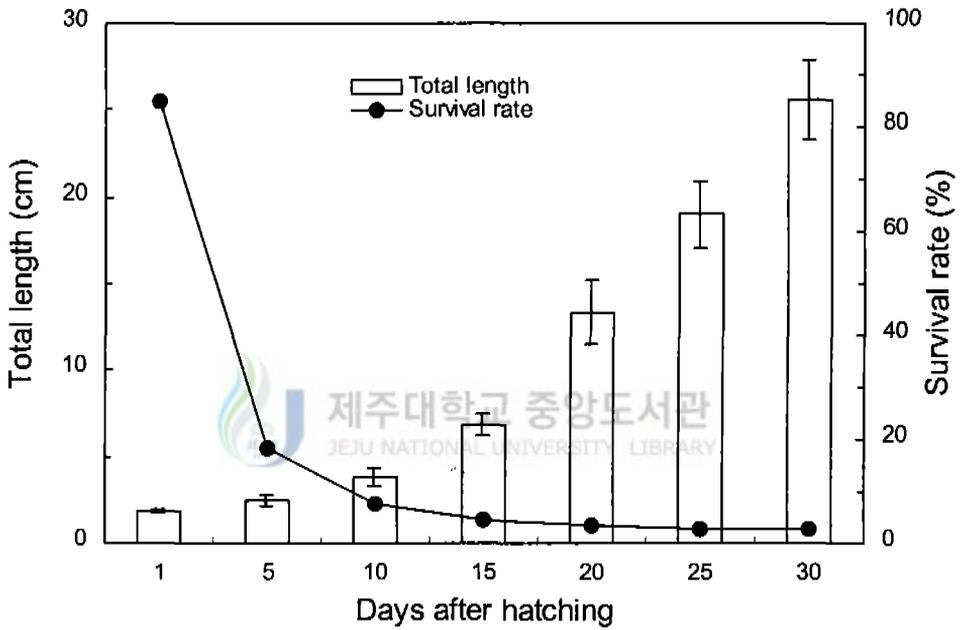


Fig. 29. Total length and survival rate of *S. canaliculatus* larvae during 30 days after hatching.

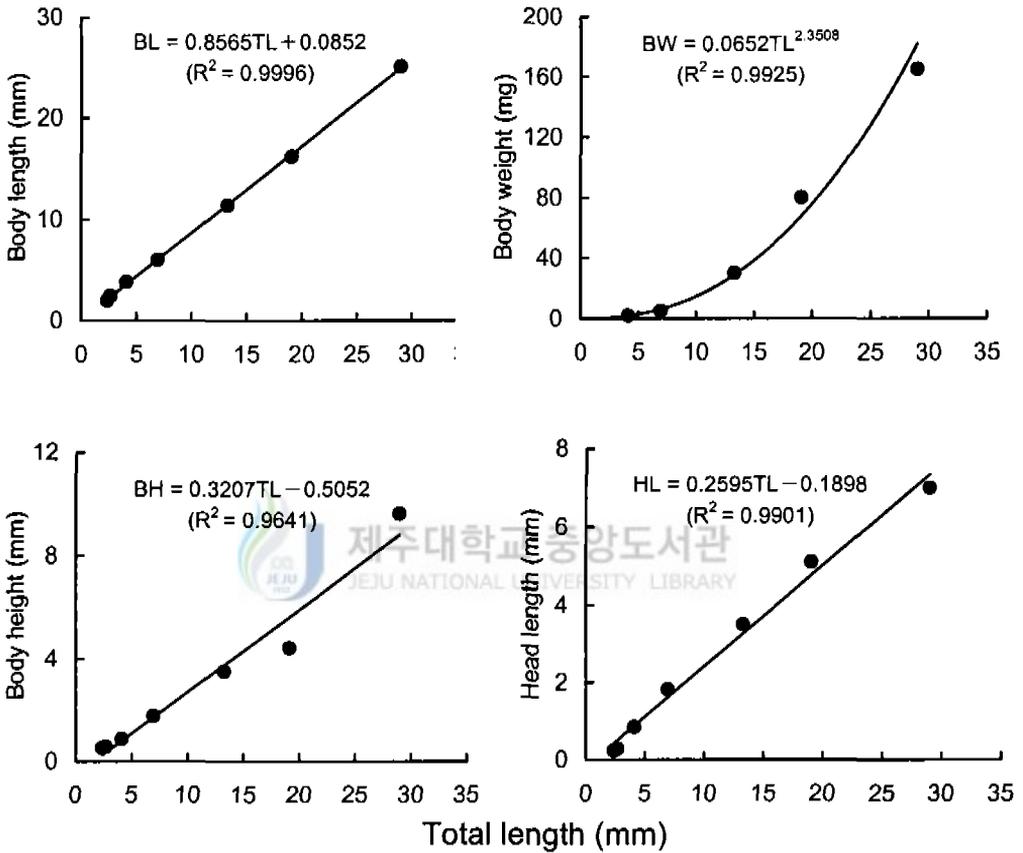


Fig. 30. Relationship between body length (BL), body height (BH), body weight (BW) and head length (HL) against total length (TL) of *S. canaliculatus* larvae.

4) Rotifer와 *Artemia nauplii*의 섭식

(1) Rotifer의 섭식량

흰점독가시치 자어가 rotifer를 섭식한 부화 후 5일부터 20일까지 2일 간격으로 자치어 1마리가 1회에 섭식할 수 있는 rotifer의 양 즉, 일회 섭식량을 Table 20에 나타내었다. 부화 5일째 자어의 소화관 내에서 rotifer가 처음으로 관찰되었고, 이때 자어의 전장은 2.76 ± 0.20 mm였고, 일회 섭식량은 평균 10.6 ± 3.4 개체였다. 그 후 자어가 성장함에 따라 rotifer의 섭식량도 증가하여 부화 9일째에는 전장 4.65 ± 0.49 mm로 성장했고, 일회 섭식량도 42.3 ± 8.7 개체로 증가했다. 체형이 넓어지고, 일부 군집 유영을 하는 부화 후 15일 및 17일째의 일회 섭식량은 각각 167.6 ± 33.8 개체 및 179.2 ± 21.8 개체였다. 실험 종료일인 부화 19일째 섭식량은 239.1 ± 54.8 개체로서 자어의 성장과 더불어 rotifer의 일회 섭식량은 급격히 증가하였다.

(2) *Artemia nauplii*의 섭식량

부화 후 12일부터 26일까지 흰점독가시치의 자치어에 대한 먹이 공급빈도별 *Artemia nauplii*의 평균 섭식량은 Fig. 31과 같다.

부화 후 12일째 자어(평균 전장 7.0 ± 0.6 mm) 1마리가 12시간 동안 23~54개체, 평균 43.5개체의 *Artemia nauplii*를 섭식하였다. 부화 15일째(평균 전장 9.9 ± 1.14 mm)부터는 섭식량이 급격히 증가하여 자어 1마리의 섭식량은 232~577개체, 평균 438개체를 섭식하였고, 부화 18일째(평균 전장 13.5 ± 0.4 mm)에는 12시간 동안 평균 1,154개체의 *Artemia nauplii*를 섭식하였다. 부화 후 20일 이후부터는 치어기에 도달하면서 섭식량은 더욱 증가하여, 부화 21일째(평균 전장 15.0 ± 1.5 mm) 섭식량은 1마리가 평균 2,033개체, 24일째(평균 전장 20.6 ± 1.4 mm)에는 평균 3,000개체로 증가하였지만 실험 종료일인 부화 26일째(평균 전장 23.6 ± 1.1 mm)에는 평균 3,124개체로 완만하게 증가하였다. 실험기간동안 사육수조 내의 수온은 $25.0 \sim 28.0^\circ\text{C}$ 범위였다.

Table 20. The number of rotifers consumed by a *S. canaliculatus* larva for 19 days after hatching

Days after hatching	Number examined	Total length (Mean \pm SD, mm)	Number of rotifer fed (individuals/larva)	
			Range	(Mean \pm SD)
5	17	2.76 \pm 0.20	6~15	10.6 \pm 3.4
7	15	3.84 \pm 0.50	19~45	31.6 \pm 6.7
9	16	4.65 \pm 0.49	29~55	42.3 \pm 8.7
11	17	5.84 \pm 0.79	39~80	61.3 \pm 14.8
13	15	7.16 \pm 1.15	56~93	78.7 \pm 13.6
15	16	9.01 \pm 1.19	110~210	167.6 \pm 33.8
17	17	9.97 \pm 1.88	142~210	179.2 \pm 21.8
19	17	13.9 \pm 1.07	140~330	239.1 \pm 54.8



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

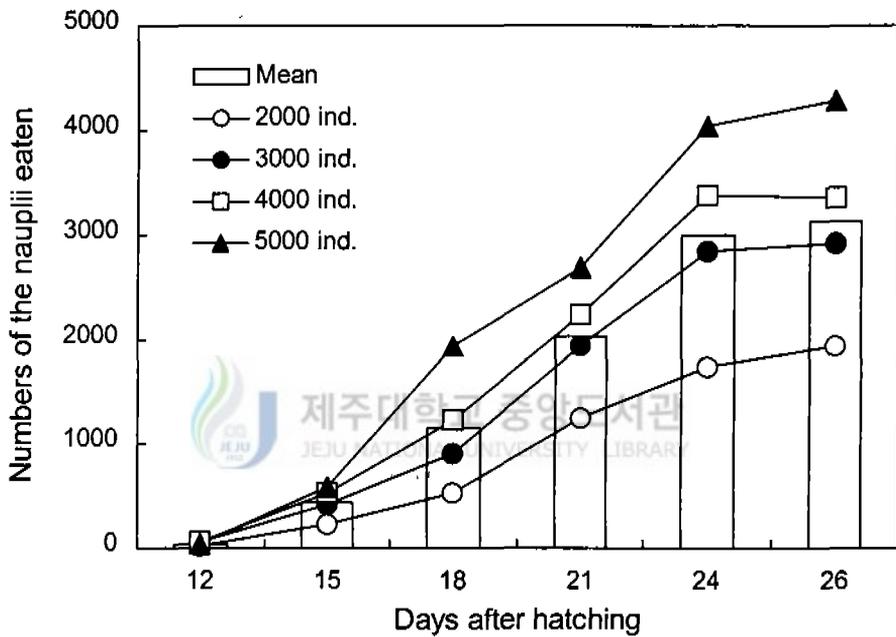


Fig. 31. Change in the number of *Artemia* nauplii eaten by a *S. canaliculatus* larva at four different densities.

5) 대량 종묘생산

1999년 8월 20일부터 9월 29일까지 흰점독가시치 자어를 수용하여 사육한 결과는 Table 21, Fig. 32와 같다.

자연산란에 의해 채란된 수정란 약 950,000개로서 수정률은 평균 98%였고, 부화율은 710,000개의 자어가 부화하여 평균 76.3%였다. 부화 후 3일째 평균 전장 2.9 ± 0.1 mm의 자어는 난황과 유구를 거의 완전하게 흡수하고 외부로부터의 영양을 공급받는 과정에서 정상적인 섭식을 하지 못해 1차적으로 대량폐사가 발생하여 생존율은 66.5%로서 급격하게 감소하였다. 부화 4일째부터는 바윗굴의 trochophore 유생을 섭식하였으며, 일부 자어는 소형 rotifer, *B. rotundiformis* (100 μ m 이하)를 섭식하기 시작하였다. 그러나 아직까지도 대부분의 자어에 있어 정상적으로 섭식이 이루어지지 않아 폐사 개체가 증가하여 부화 후 5일까지의 생존율은 14.9%였다. 정상적으로 rotifer를 섭식하기 시작하는 부화 후 6일부터는 폐사 개체가 현저하게 줄어들었으며, 자어는 활발한 유영능력을 갖고 적극적으로 섭식하는 행동을 취하였다. 이때 자어의 소화관은 등황색으로 변하지만 몸 전체는 외관상 투명한 상태가 지속된다. 부화 후 10일이 경과된 자어의 전장은 4.9 ± 0.6 mm로서 rotifer의 일회 섭식량이 30~60개체로 증가하였고, 초기 미립자사료도 섭식하는 것이 관찰되어 먹이전환이 원활하게 진행되었으며, 이때까지의 생존율은 11.1%로서 초기 대량 폐사 이후부터는 거의 폐사 개체가 발생하지 않았다. 부화 후 13일부터는 소형과 함께 대형 rotifer, *Artemia nauplii* 유생을 혼용하여 공급하였는데, 소화관내 rotifer의 크기가 평균 186 μ m로서 대형 rotifer를 정상적으로 섭식하였으며, 일부 대형 개체들은 *Artemia nauplii* 유생을 섭식하여 소화관이 육안적으로 붉게 변하였다. 부화 20일째부터는 각 지느러미와 체형이 성어와 거의 비슷한 치어기에 접어들었으며, 이 시기부터는 rotifer보다는 *Artemia nauplii* 유생이나 배합사료

의 섭식 비율이 점차 증가하였다. 또한 일부 개체들에서는 공식현상이 나타났으며, 몸을 옆으로 누운 상태에서 힘없이 유영하다가 사망하는 개체가 하루에 10~20마리 정도 발생하였다. 부화 24일째 자어는 평균 전장 23.3 ± 2.9 mm, 체중 0.15 ± 0.05 g이었고, 생존율은 11.0%였다. 부화 후 31일째 치어는 평균 전장 30.9 ± 0.4 mm, 체중 0.34 ± 0.16 g이었으며, 배합사료 섭식이 왕성하였고, 수조 중간에서 커다란 둥근 띠를 형성하여 회전하면서 유영하는 등 특이한 군집 행동을 보였다. 그리고 이때부터는 투명하던 체색이 점차 옅은 갈색으로 변하면서 이 종 특유의 옅은 회백색 반점이 복부를 제외한 몸 전체에 넓게 퍼져나갔다. 최종적으로 10월 9일 부화 50일째에 치어 76,000마리가 생산되어 생존율은 10.7%였으며, 치어의 평균 전장은 65.6 ± 0.4 mm이었고, 평균 체중은 3.4 ± 0.4 g으로 성장하였다.

자치어 사육기간중 수온은 $23.0 \sim 28.0^{\circ}\text{C}$, 염분농도는 25.9~33.9‰ 범위였다(Fig. 33). 특히, 초기 사육 과정(부화 후 5~9일)에서 자연 해수의 공급 없이 지수 상태에서 클로렐라의 공급만으로 사육수를 관리하는 과정에서, 집중 폭우로 인하여 클로렐라 배양 수조의 비중저하로 자어 사육조 내의 염분농도가 25.9~26.9‰ 까지 하강하였으나, 점차 자연해수의 유수량을 증가시키면서 정상으로 회복되었다.

Table 21. Growth and survival of *S. canaliculatus* larvae during the mass seed production trial

Date	Age (days)	TL(mm) (Mean±SD)	Number of larvae (×10 ³)	Survival rate (%)
Aug. 20, 1999	1	2.1±0.1	710	100
Aug. 23	3	2.9±0.1	472	66.5
Aug. 25	5	3.1±0.3	106	14.9
Aug. 27	7	3.9±0.5	96	13.5
Aug. 30	10	4.9±0.6	79	11.1
Sep. 2	13	6.7±1.3	79	11.1
Sep. 9	20	14.4±1.5	79	11.1
Sep. 14	25	23.3±2.9	78	11.0
Sep. 19	30	30.9±0.4	78	11.0
Sep. 24	35	36.4±0.4	78	11.0
Sep. 29	40	51.1±0.6	77	10.8
Oct. 4	45	54.6±0.5	77	10.8
Oct. 9	50	65.6±0.4	76	10.7

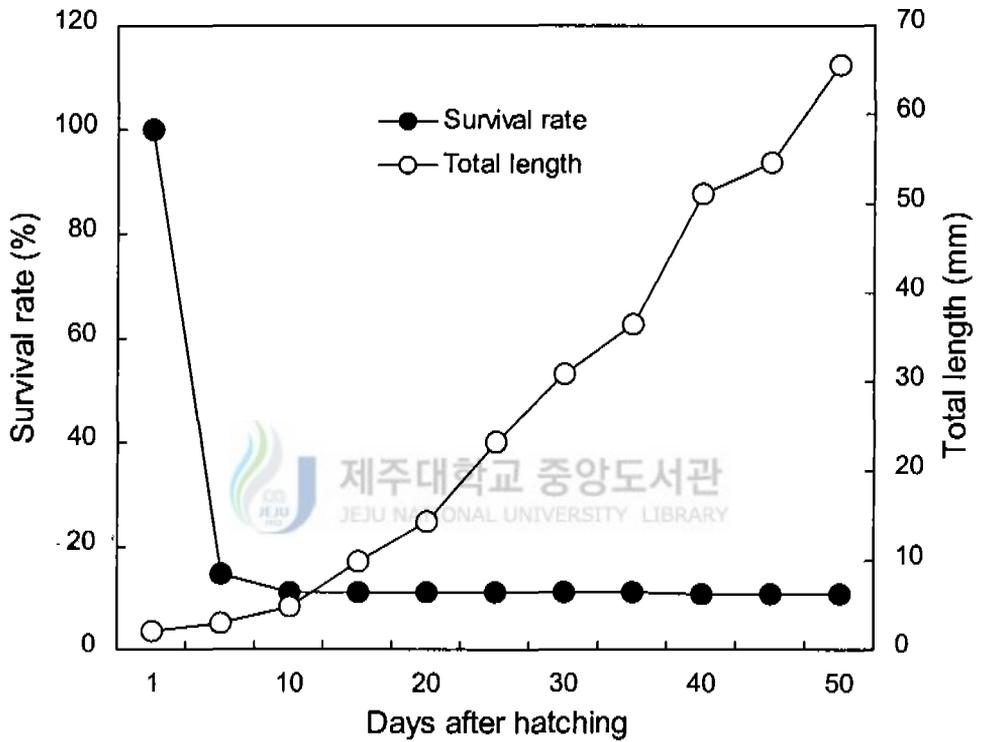


Fig. 32. Growth and survival of *S. canaliculatus* larvae during the mass seed production trial.

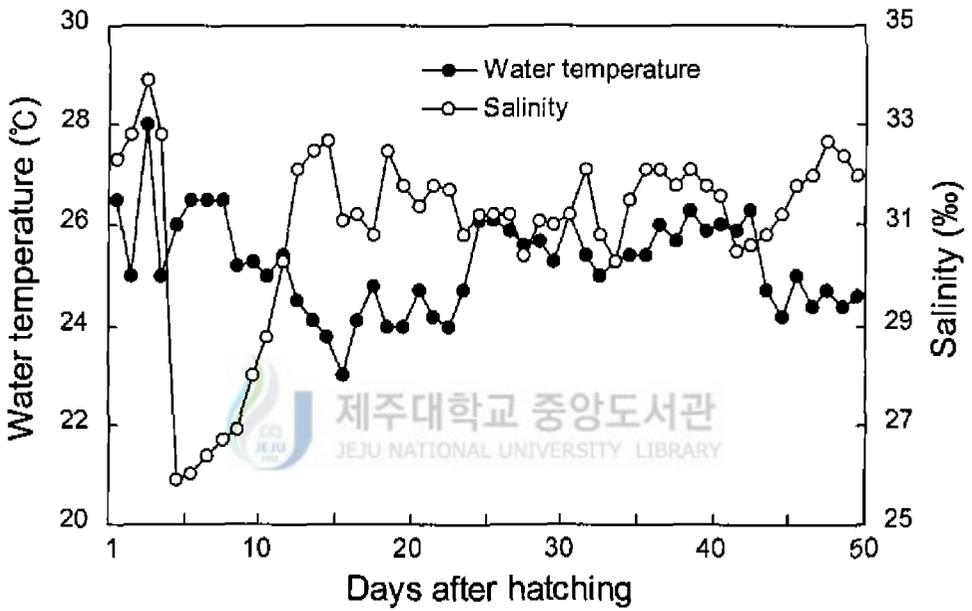


Fig. 33. Fluctuation of water temperature and salinity of *S. canaliculatus* in a seed production tank.

4. 양성

1) 사육 환경

1997년 8월부터 1998년 9월까지의 월평균 수온과 염분 농도는 Fig. 34와 같다. 수온은 1997년과 1999년 9월에 각각 24.4℃, 25.4℃로 가장 높았고, 겨울철 수온은 1998년 1월에서 3월까지 3개월간 14.2~14.6℃로 낮았다. 특히, 1월 22일부터 1월 30일까지는 13.2~13.8℃(평균 13.4℃)로 실험 기간 중 가장 낮았으며, 이때는 섭식도 급격히 떨어졌다. 염분농도는 32.1~35.7‰ 범위였고, 1998년 7월부터 8월까지의 장마철과 중국 양자강으로부터 저염분수 유입으로 인해 급격히 하강하였다.

2) 월별 성장과 생존율

1997년 7월 인공 종묘생산한 흰점독가시치 치어를 대상으로 1997년 8월 31일부터 1998년 9월 28일까지 실내 수조에서 사육한 결과는 Table 22와 Fig. 35에 나타내었다.

실험 초기인 1997년 8월부터 12월까지의 성장은 평균 전장 15.0 ± 1.7 mm, 평균 체중 50.0 ± 9.5 g이었고, 수온이 16.9~14.2℃로 하강하는 12월 30일부터 1998년 4월 29일까지는 평균 전장 17.2 ± 1.1 mm, 평균 체중 76.2 ± 18.3 g으로 완만하게 성장하였으며, 이 기간 동안 일간 성장률도 0.208~0.527%로 가장 낮았다. 수온이 상승하는 5월부터 성장이 다시 증가하기 시작하여 실험이 종료된 9월 28일까지의 성장은 평균 전장 24.2 ± 2.0 mm, 평균 체중 206.0 ± 47.3 g이었다. 생존율은 초기 사육기간인 1998년 1월 31일까지 40% 이상 폐사하여 생존율이 57.3%였으며, 점차 성장함에 따라 폐사량이 감소하여 최종 생존율은 48.7%였다. 실험 기간동안 전장(TL)에 대한 체중(BW)과의 회귀방정식은 $BW = 0.1715 TL^{2.1964}$ ($R^2 = 0.9821$)이었다(Fig. 36).

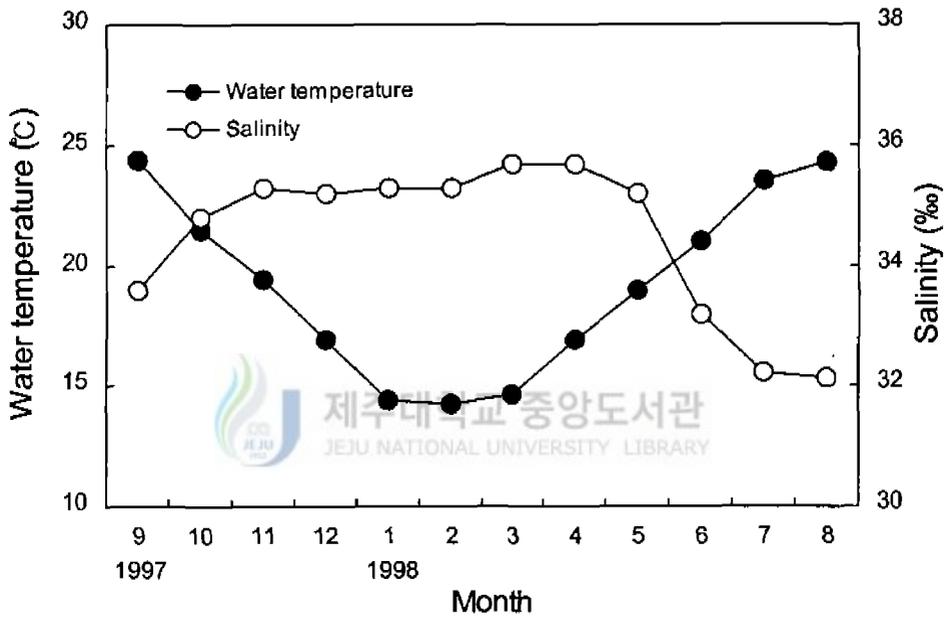


Fig. 34. Fluctuation of water temperature and salinity during the rearing period of *S. canaliculatus*.

Table 22. Monthly pattern of growth and survival during the rearing experiment of *S. canaliculatus* from August 1997 to September 1998

Rearing period	Initial		Final		Survival rate (%)	Daily growth rate (%)
	TL (cm)	BW (g)	TL (cm)	BW (g)		
Aug. 31, 1997 ~ Sep. 29	2.9±0.4	0.8±0.2	3.5±0.4	4.5±0.4	80.0	4.684
Sep. 30~ Oct. 31	3.5±0.4	4.5±0.4	4.9±0.5	9.8±0.9	68.0	2.332
Nov. 1~ Dec. 1	4.9±0.5	9.8±0.9	12.2±1.3	31.4±2.5	62.6	3.390
Dec. 2~ Dec. 30	12.2±1.3	31.4±2.5	15.0±1.7	50.0±9.5	60.7	1.577
Dec. 31~Jan. 31, 1998	15.0±1.7	50.0±9.5	16.2±1.4	57.0±6.7	57.3	0.405
Feb. 1~ Feb. 27	16.2±1.4	57.0±6.7	16.5±1.3	61.2±10.3	56.0	0.265
Feb. 28~ Mar. 31	16.5±1.3	61.2±10.3	16.7±1.2	65.4±14.0	55.3	0.208
Apr. 1~ Apr. 29	16.5±1.2	65.4±14.0	17.2±1.1	76.2±18.3	54.0	0.527
Apr. 30~ May 29	17.2±1.1	76.2±18.3	18.4±1.6	97.4±25.3	54.0	0.813
May 30~ June. 24	18.4±1.6	97.4±25.3	19.5±0.9	118.6±21.4	52.6	0.754
June. 25~ July. 21	19.5±0.9	118.6±21.4	20.7±1.3	136.7±27.6	52.6	0.526
July. 22~ Aug. 25	20.7±1.3	136.7±27.6	22.5±2.1	172.3±36.0	50.3	0.659
Aug. 26~ Sep. 28	22.5±2.1	172.3±36.0	24.2±2.0	206.0±47.3	48.7	0.523

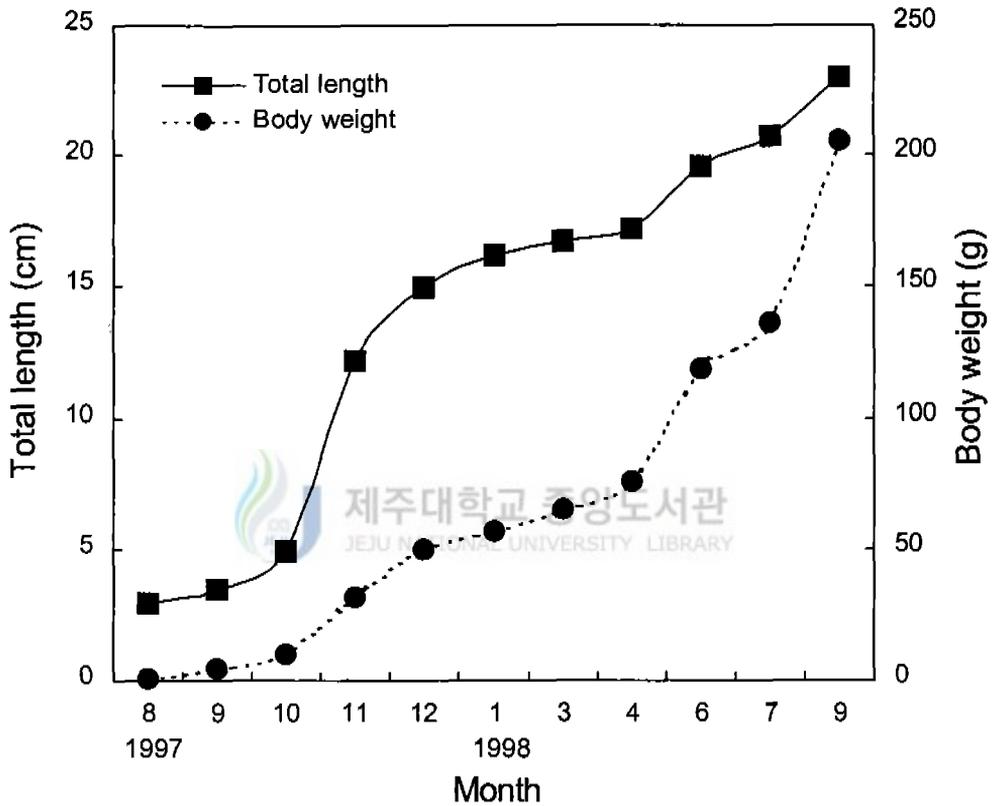


Fig. 35. Monthly change in body weight and body length of cultured *S. canaliculatus* from August 1997 to September 1998.

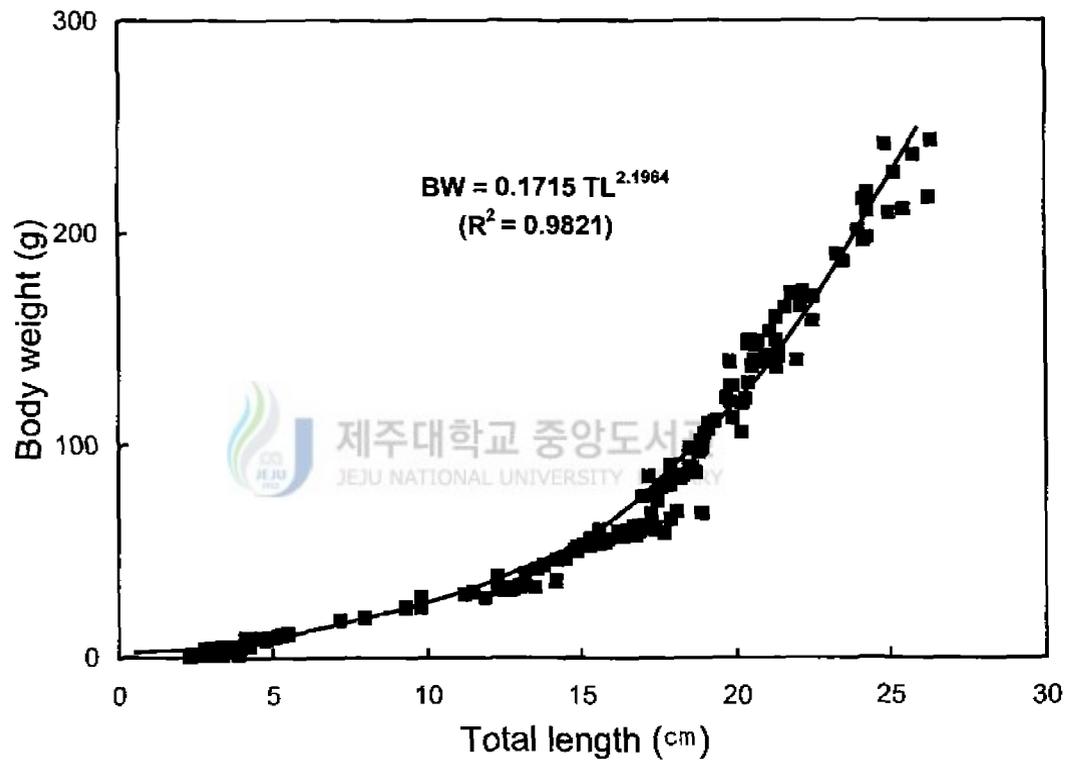


Fig. 36. Relationship between body weight (BW) and total length (TL) of cultured *S. canaliculatus* from August 1997 to September 1998.

IV. 고 찰

1. 생식주기

흰점독가시치 난소의 형태는 좌우 분리된 한 쌍의 비대칭의 낭상형을 하고 있으며, 이러한 난소 구조는 노래미, *Agrammus agrammus* (Chung and Lee, 1985), 자리돔, *Chromis notatus* (Lee and Lee, 1987), 황점볼락, *Sebastes oblongus* (Jang et al., 1995) 등에서도 보고되고 있다. 한편, 정소는 좌우 비대칭의 엽상형으로 각각 분리된 lobule type으로 노래미(Chung and Lee, 1985), 자리돔(Lee and Lee, 1987), 참돔, *Pagrus major* (Matsuura et al., 1987)과 같은 형태를 하고 있다.

어류의 성숙·산란을 제어하는 환경요인으로는 빛과 수온이 깊이 관여하고 있다고 보고하고 있으며(De Vlaming, 1972, 1975; Lee et al., 1984; An, 1994), Aida (1991)는 수온과 빛 등의 환경요인과 관련하여 생식 리듬의 유형을 6가지 형태(춘계 산란형, 춘하계 산란형, 하계 산란형, 춘추계 산란형, 추계 산란형, 동계 산란형)로 나누었다.

흰점독가시치의 경우 생식소 발달 양상은 일조시간이 점점 길어지고 수온이 상승하는 6월부터 활성화 되어, 장일 광주기와 고수온기인 7월 중순부터 8월초까지 주로 산란이 이루어진다. 따라서 하계산란형에 속하는 흰점독가시치의 생식소 성숙에는 수온상승에 광주기의 장일화가 보상적으로 작용하는 것으로 판단된다. 자리돔(Lee and Lee, 1987), 파랑볼우럭, *Lepomis macrochirus* (Lee and Kim, 1987), *Lepomis cyanellus* (Kaya and Hasler, 1972)에서도 수온과 광주기 중 반드시 어느 한쪽이 단독으로 영향을 미치는 것이 아니라 고수온과 장일 광주기(14 L)가 복합적인 작용으로 생식소의 활성화가 일어난다고 보고되고 있다. 흰점독가시치의 경우도 암수 GSI는 6월부터 점차 증가하기 시작하여 연중 일장주기가 길고, 수온이 상승하

는 7월초부터 급증하기 시작하였다. 이 시기의 생식소 발달 단계는 암컷의 난소 내에는 난세포질에 난황구들이 축적된 난황형성기 난모세포 및 완숙란이 출현하고, 수컷의 정소 내에는 정세포 및 정자의 무리가 출현하였다. 8월부터는 암수 모두 GSI의 급격한 감소와 생식소내 생식세포가 퇴화·흡수되어 흰점독가시치의 산란기는 7~8월로 추정되어, 일본 Okinawa 근해의 흰점독가시치 산란기인 4~6월(Hoque, 1994) 보다 2~3개월 정도 늦었다. 이러한 결과는 이 연구 재료의 채집지인 제주도 서귀포 근해(33° 30' N)는 Okinawa 근해(26° 40' N) 보다 고위도에 위치하고 있어 수온 등의 환경요인의 차이에서 기인된 것으로 생각된다.

Kagawa and Takano (1979)는 *Oryzias latipes*에 있어 조직학적, 조직화학적, 세포학적 관점에서 배란여포의 형태를 관찰하였으며, 배란이후 난소 내에 남아있는 배란 흔적은 하나의 산란지표로서 제안했다. 이 연구의 조직학적인 관찰에서도 많은 산란흔적(empty follicles)이 7월에서 8월사이 채집된 어류의 난소에서 관찰되었다.

한편, Hara et al.(1986)은 필리핀에서 *Siganus guttatus*를 대상으로 실내 수조에서 사육하면서 자연산란을 관찰한 결과, 연중 산란하였다. 또한 필리핀 연안에서는 거의 연중 *S. guttatus*, *Siganus canaliculatus*, *Siganus spinus* 등 대부분의 독가시치 속 어류의 치어가 출현하므로 필리핀 및 동남아시아 연안에 서식하는 독가시치 속 어류는 다회 산란하는 것으로 보고했다. 또한 일본의 Okinawa 근해에 서식하는 독가시치류에 있어서도 산란기가 최소한 2~3개월 동안 연속해서 진행되는 것으로 밝혀졌다(Hoque, 1994; Rahman, 1998). 이처럼 이 연구에서와 전혀 다른 생식양상을 보이는 것은, 일반적으로 자연 환경 특성상 열대지역에 서식하는 어종들은 특정 산란기가 없고, 대부분 연중 산란을 행하는 것으로 알려져 온 것에 비하여 제주도는 이 종의 분포 상한선에 해당하는 곳에 위치한 것에 기인된 것으로

로 생각되므로 금후 이에 대한 구체적인 연구 검토가 이루어져야 할 것 같다.

흰점독가시치의 HSI의 월 변화는 암컷의 경우 7월에 가장 높았고, 이 결과는 Hoque (1994)의 보고와 일치하며, 암수 모두 GSI와 뚜렷한 상관관계는 없었다. 또한 산란 이후에도 HSI 값이 어느 정도 높은 수준인 것은 생식소의 발달에 필요한 영양이 간으로부터 공급되는 것을 의미한다.

일반적으로 어류의 난발달 양식은 동시 발달형, 난균 동시 발달형, 비동시 발달형으로 구분되고 있다(Wallace and Selman, 1981). 흰점독가시치의 성숙된 난소내에는 일부 미발달된 난모세포도 분포하지만, 대부분의 난모세포는 난경이 450~600 μm 정도의 성숙 난모세포가 대부분을 차지하여, 황점볼락(Jang et al., 1995), 장갱이, *Stichaeus grigorjewi* (Lee, 1996), 옥돔, *Branchiostegus japonicus* (Yang et al., 1997) 등과 같이 난균 동기 발달형에 속한다고 판단된다. 한편 배란·방정후 난소소낭과 정소소엽에 미방출된 난과 정자들은 퇴화·흡수되거나 소수 초기 난모세포 및 정모세포들은 생식상피상에 그대로 존재하고 있어 이들은 이듬해 성장기에 그대로 참여하여 조기 성숙되는 것으로 생각된다.

이상과 같이 제주도 연안의 흰점독가시치에 있어 생식소 발달과정과 생식주기를 비교 검토한 결과 본 종은 수온이 상승하는 6월부터 생식소가 발달하여 고수온기인 7~8월에 산란하며, 한 산란기에 1회 산란하는 종으로 확인되었다.

2. 산란유도 및 초기생활사

종묘생산 기술개발을 위해서는 자연산 어미를 실내수조에 적응시켜 산란용 어미로 활용하는 일이 매우 중요하다. 흰점독가시치는 광범위한 수온 및 염분 농도에 잘 적응하는 등 다양한 환경요인에 대한 내성이 아주 강한

것으로 알려져 왔다(Lam, 1974). 기존의 대부분의 학자들은 독가시치류의 식성이 치어나 성어를 막론하고 전부 초식성으로 인식되어 왔다. 독가시치 속의 *S. rivulatus*를 실내수조에 수용하여 조류(*Ulva* sp.)와 건조 배합사료를 공급한 결과 정상적인 먹이불임과 성장이 가능하였다. 이와 동일한 종을 대상으로 가두리에서 사육실험을 한 결과, 수조내에서 보다 훨씬 빠르게 성장하였으며, 건조 pellet 사료보다 moist pellet을 공급한 실험구에서 양호한 성장을 보고하고 있다(Kissil, 1972). 흰점독가시치, *S. canaliculatus*는 자연 생태계에서는 초식성이 강한 잡식성으로 알려져 있어(Lam, 1974), 이 연구에서는 자연산 어미를 실내수조에 수용하여 먹이 불임을 위해 파래, 감태 등의 해조류를 10일동안 공급한 결과 일부 개체에서 해조류를 섭취한 것이 확인되었다. 10일 이후부터는 대부분의 개체에서 건조 배합사료를 정상적으로 섭취하여 비교적 실내 수조에 잘 적응하였다. 그리고 1년 동안 143 g의 체중이 증가하였고, 생존율은 66.2%였다. 또한 사육과정에서 피부흡충, *Benedenia* sp.의 기생에 의해 흰점독가시치의 체표면에 점액물질이 분비되고, 심하면 출혈현상이 발생하였고, 이로 인해 폐사 개체가 발생하였으나, 포르말린 약욕으로 대부분 구제하였다. 그러나 이러한 약품처리는 처리시간, 농도 및 수온에 따라 어체에 피해를 줄 우려가 있어 향후 무독성 구제대책으로 담수육 처리에 의한 구제 방법도 강구되어야 할 것으로 생각된다.

HCG는 일반적으로 다른 호르몬과 병행하여 사용할 수 있을 뿐만 아니라 국제적으로 표준화되어 있어 결과를 비교하는데 용이하고 뚜렷한 효과가 인정되어 어류의 성숙 및 배란에 효과적으로 이용되고 있다(Lam, 1982; Donaldson and Hunter, 1983; Lee et al., 1988). 특히, 해산어류에 있어서는 Common sole (Ramos, 1986), 넙치, *Paralichthys olivaceus* (Park et al., 1994), 능성어, *Epinephelus septemfasciatus* (Kim et al., 1997) 등에서

배란 효과가 입증되었으며, 독가시치 속의 *S. guttatus*에서도 성공적인 배란이 유도되었다(Ayson, 1989, 1991; Juario et al., 1985).

흰점독가시치의 정상적인 배란유도를 위해서는 HCG의 투여량은 어체중 kg당 1,000~1,500 IU가 적당한 것으로 조사됐다. 이러한 결과는 넙치(Park et al., 1994), 능성어(Kim et al., 1997) 및 황복, *Takifugu obscurus* (Jang, 1996) 등에서 어체중 kg당 1,000 IU가 효과적이었다는 연구와 유사한 경향이였다. 그러나 Common sole (Ramos, 1986)와 *Sparus aurata* (Zohar and Gordin, 1979)에서는 HCG를 어체중 kg당 250~500 IU의 소량 처리군에서 양호하였으며, 반대로 *Epinephelus fario* (Kuo et al., 1988)는 2,000 IU 이상 처리에서만 배란이 확인되어 어종에 따라 배란유도를 위한 호르몬 처리 농도에 있어 큰 차이가 있었다. 또한 HCG 주사시기와 횟수와 관련하여 Ayson (1991)은 *S. guttatus*를 대상으로 하여 2,000 IU/kg BW의 HCG를 2회 주사하여 효과적으로 배란이 이루어졌는데, 이러한 결과는 초기 난모세포의 크기에 따라 배란효과에 차이가 있다고 하였다. 이 연구에서도 성숙 초기에 HCG를 처리한 실험구에서는 2회 주사로서 배란이 유도되었지만, 산란기에 임박한 어미에 처리한 실험구에서는 1회 주사로서 배란이 유도되어, Ayson (1991)의 결과와 일치하였다. 호르몬 주사 후 배란이 유도되기까지의 소요시간은 사육수온, 호르몬 농도 및 어미의 성숙 상태 등에 따라 차이가 있는데, 이 연구에서는 자연산 77~270시간, 인공산 192~360시간으로 비교적 큰 차이가 발생했는데, 이는 고농도 처리한 실험구에서는 다소 빨랐고, 소형개체에서는 배란 유도시간이 상대적으로 길었다. Ayson (1991)은 HCG 주사 이후 배란까지의 소요시간은 난모세포의 크기가 보다 작은 개체에서는 배란을 유도하는데 더 오랜 시간이 소요되었고, Common sole (Ramos, 1986)에서도 이와 유사하였다. 흰점독가시치가 HCG에 반응하는 속도는 Common sole (Ramos, 1986), Milkfish, *Chanos chanos*

(Marte et al., 1987) 보다 상당히 느렸으며, 황복(Jang, 1996)과 유사한 결과를 보였다. 또한 호르몬 처리 시기와 관련하여 은어, *Plecoglossus altivelis* (Hirose et al., 1977)와 넙치(Hirose et al., 1979)에서는 과숙 상태에서의 호르몬처리로 인해 난질 상태가 좋지 않았다. 이에 비해 무지개송어, *Oncorhynchus mykiss*, Atlantic salmon, sea bass 등의 미성숙어에 호르몬을 처리할 경우 난모세포의 성숙과 배란을 촉진시킬 수는 있었지만, 난질 저하의 한 원인이 되기도 했다(Crim et al., 1983; Crim and Glebe, 1984; Garcia, 1989). 따라서 호르몬처리에 의한 성공적인 배란유도는 적정 시기에 양질의 알을 얻는 것이 목적이기 때문에 호르몬 농도와 함께 호르몬처리 시기도 신중한 검토를 통해 결정해야 할 것으로 판단된다. 호르몬에 의한 인위적인 배란 유도시 일반적으로 같은 종의 개체간에도 GSI는 일정하지 않는 것으로 조사되었다. 그러나 이 연구 결과 GSI와 Pseudo-GSI는 HCG처리 농도에 따라 큰 변화는 없었으며, 배란량과 난경도 비교적 일정하여 흰점독가시치의 배란유도에 HCG가 효과적인 것으로 생각된다.

어류의 난질 평가는 어종에 따라 판단 기준이 다양하고, 무지개송어에 있어서는 발안율과 수정률을 실질적으로 양식 현장에서 적용할 수 있는 난질 평가 기준으로 삼고 있다(Bromage et al., 1992). 또한 해산어류 종묘생산에서는 일반적으로 부상률과 침강률을 난질을 평가하는 기준으로 많이 적용한다고 보고했다(McEvoy, 1984; Carrillo et al., 1989). 한편, Kjorsvik et al. (1990)은 수정 난막(chorion)의 출현율, 알의 형태와 투명도, 유구의 분포에 의해 난질을 평가할 수 있다고 주장했고, 특히 수정률, 부화율 및 알의 과숙 상태는 해산어류의 난질 평가에 좋은 지표가 된다고 보고하였다. 그리고, 궁극적으로는 자어 기간 동안 생존율이나 건강한 종묘의 생산이야말로 난질을 평가하는데 중요한 요인이라 할 수 있다(De Leeuw et

al., 1985; Manickam and Joy, 1989) 이 연구에서는 수정률은 호르몬 농도와 어미의 연령에 관계없이 전 시험구에서 높았지만, 부화율과 배체형성률은 고농도 처리구로 갈수록 낮았다. 따라서 단순히 배란유도만 고려한다면 1,000~1,500 IU가 적정 처리농도로 판단되지만 이와 같이 난질 평가를 종합해 볼 때 흰점독가시치의 성공적인 배란과 난질 향상을 위한 HCG 처리농도는 어체중 kg당 1,000 IU 전후가 적당할 것으로 생각된다.

실내수조에서 양성산과 자연산을 대상으로 개체당 자연산란을 관찰한 결과 1997년도 실험에서는 8월 12일부터 8월 15일 사이에 산란이 관찰되었으며, 산란은 주로 야간에 이루어졌다. 1998년도 실험에서는 7월 31일부터 8월 12일까지 대부분의 어미에서 산란이 관찰되었으며, 산란은 밤낮 구분 없이 이루어져 1997년 실험과 대조를 보였다. 일부 독가시치류 중에서는 달주기(lunar periodicity)에 따른 일정한 산란 리듬이 존재한다고 알려져 있는데(Manacop, 1937; Popper et al., 1976; Bryan and Madraisau, 1977; Hara et al., 1986), 이 연구에서도 1998년 실험에서 1개체만이 예외적으로 하현 주위에서, 그 외에는 전부 상현과 만월 사이에서 산란이 이루어졌다.

전장 28~36 cm, 체중 306~832 g 범위인 흰점독가시치 암컷 1마리당 산란량은 191,000~886,000개였고, 평균 461,200개였다. 이러한 결과는 Manacop (1937)이 보고한 30~40만개와 Lam (1974)이 보고한 30~50만개와 유사하였다. 또한 독가시치 속의 *S. guttatus*의 3년산 암컷 1마리당 산란량은 210,000~1,160,000개였고, 평균 570,000개로서 이 종보다는 약간 많았다.

Popper and Gundermann (1976)과 Gundermann et al. (1983)은 자연상태에서 독가시치류의 일종인 *S. rivulatus*, *S. luridus* 및 *S. vermiculatus*의 산란행동을 관찰한 바 있으나 구체적으로 산란행위를 직접 관찰하지 못했다. Hara et al. (1986)은 *S. guttatus*를 대상으로 수조내에서 산란행동을

관찰한 결과 산란기에 어미의 체색은 암컷이 암청색으로 변하고, 수컷은 옆구리에 별 모양의 하얀색 반점이 선명하게 나타나 전체적으로 체표면이 밝은 색을 띤다고 보고하였다. 그러나 독가시치류에 있어 산란행동은 실내 수조에서와 같은 인위적인 조건하에서와 자연상태에서는 다소 차이가 있는 것으로 보고되었다(Kuwamura, 1983). 이 연구에서 흰점독가시치의 산란은 산란시작 약 5시간 전부터 산란행동을 보이기 시작하였고, 주로 수조 바닥에서부터 수컷 1~2마리가 암컷을 추미하면서 산란이 진행되어, *S. guttatus* (Hara et al., 1986)의 산란행동 관찰에서와 비슷한 양상을 보였다. 그리고 산란기간동안 체색은 암컷은 청회색으로 변했고, 수컷은 체표면에 산재되어 있는 회백색 반점들이 보다 선명하게 나타나 일종의 혼인색을 띄었다.

흰점독가시치의 알은 침성 점착란으로서 채란하는데 있어 산란상이 반드시 필요할 뿐만 아니라 자어사육을 위해서는 다른 수조로 산란된 알을 이동하는데 채란판에 부착시켜 옮기면 편리하다. 따라서, 이 실험에서는 다양한 소재를 채란판으로 이용하여 채란을 한 결과 투명 유리판에 가장 많은 알이 부착하였으며, 그 다음으로 전복 종묘생산용 주름진 파판(poly carbonate)에 많은 알들이 부착하였다. 특히 전복 종묘생산용 파판을 홀더에 끼워서 산란 수조에 설치하면 표면적을 최대한 넓게 활용하고, 부화 사육조로 난을 이동하기에 편리하기 때문에 점착성 알을 관리하는데 효율적일 것으로 생각된다. 그러나 파판을 설치하는데 있어 간격이 너무 좁으면, 해수의 교환이 좋지 않아 산소부족으로 인하여 부화율이 떨어질 것으로 생각된다.

Blaxter and Hempel (1963)은 자어의 크기는 난경과 밀접한 관련이 있고, 난경이 큰 어류는 상대적으로 부화 자어의 전장도 커서 소형인 자어보다도 초기 생존율이 높다고 보고하였다. 이러한 알의 크기는 어종에 따라

다양하게 나타나고, 동일종 내에서도 알의 크기에 차이가 나는 것은 계절적인 영향, 개체군, 산란시기, 연령 등에 따라 차이가 난다(Farris, 1960). 일반적으로 독가시류의 성숙란은 소형, 무색투명, 구형, 침성 점착란으로 여러개의 유구를 갖고 있는 것이 특징이다(Lam, 1974). 이 연구에서 측정 한 흰점독가시치의 수정란의 크기는 평균 0.58 ± 0.02 mm였는데, Park et al. (1992)은 0.60 ± 0.03 mm로 보고하였다. 그리고 Fujita and Ueno (1954)는 동일한 속의 *S. fuscescens*의 난경을 $0.62 \sim 0.66$ mm로 보고하여 이 종보다는 다소 큰 편이었으나, Hara et al. (1986)이 보고한 *S. guttatus*의 난경 0.56 ± 0.01 mm와는 유사하였다. 다른 어종과 비교해 보면 넙치의 난경 0.91 ± 0.04 mm (Rho and Pyen, 1986), 돌돔, *Oplegnathus fasciatus*의 난경 $0.77 \sim 0.98$ mm (Kumai, 1984) 등에 비해 이 종의 난경은 아주 소형이었다. 또한 이들 종보다도 다소 소형인 붉바리, $0.76 \sim 0.85$ mm (Kayano, 1988) 보다도 다소 작은 편이었다.

수정란의 부화까지의 소요시간은 수온에 따라 다소 차이가 있는데, *S. guttatus*는 수온 $26 \sim 28^{\circ}\text{C}$ 에서 $18 \sim 20$ 시간이 소요되었고(Hara et al., 1986), *S. fuscescens*의 경우는 수온 $23.5 \sim 26.0^{\circ}\text{C}$ 에서 평균 약 27시간이 소요되었다(Fujita and Ueno, 1954). 이 연구에서의 흰점독가시치 알의 수온별 부화시간을 보면 20°C 에서 55.2시간, 24°C 에서 34.0시간, 28°C 에서 27.0시간, 32°C 에서 22.0시간이 소요되어, *S. fuscescens* (Fujita and Ueno, 1954)와 거의 유사하였다. 즉, 수온이 높을수록 발생 단계별 소요시간이 짧아지는 경향이었는데, 이러한 결과는 대구, *Gadus macrocephalus* (Forrester and Alderdice, 1986), 무지개송어(Garside, 1986), 돌가자미, *Kareius bicoloratus* (Jun et al., 1999) 등 많은 어종의 난발생 과정에 있어서 알려진 일반적인 경향이다. 이 연구에서 흰점독가시치의 난발생 과정에서 생물학적 영도는 평균 11.4°C 였다. 수온별 난발생에 따른 정상 부화율

은 인공 수정시 자연해수의 수온과 비슷한 24℃ 시험구에서 가장 높게 나타났으며, 기형 개체의 출현비율도 다른 시험구에 비해 가장 낮아 흰점독가시치 종묘생산시 24℃내외의 수온에서 실시하는 것이 보다 효과적이다.

독가시치류의 자치어의 성장에 따른 외부 형태에 대하여 *S. fuscescens* (Fujita and Ueno, 1954), *S. canaliculatus* (Lam, 1974), *S. rivulatus* (Popper et al., 1973), *S. guttatus* (Hara et al., 1986) 등을 대상으로 보고되었지만, 일반적인 형태적 발달과 행동에 있어서 큰 차이가 없었다. 다만, 이 종은 변태과정에서 부화 후 15일경부터 군집행동을 보이면서 자기영역(territory)을 형성하기도 하고, 개체간에 성장차이가 뚜렷하게 나타나 상대방의 꼬리를 공격하는 등의 공식현상이 나타나는 특징이 있다.

3. 종묘생산

환경요인중 염분농도는 종묘생산 과정에서 자어의 성장과 생존뿐만 아니라 부화율, 자어의 활력, 난황흡수, 먹이효율 등에 영향을 미치고, 특히, 알에 있어서 산란, 발생, 부화하는데 염분에 의해 큰 영향을 받는다(Holliday, 1969). Go and Rho (1996)는 제주북에서 3.5‰에서 24.7%, 37‰에서 76%의 부화율을 보고했는데, 비록 아주 낮은 염분농도에서 부화가 이루어졌다고 하더라도 결국 기형률의 증가나 부화 자어의 높은 폐사로 이어졌다. 이 연구에서는 염분농도가 높으면 높을수록 알의 부화시간은 상대적으로 단축되는 역의 상관 관계였는데, 이러한 결과는 *S. guttatus* (Yong and Duenas, 1993), 청어, *Clupea harengus* (Holliday and Blaxter, 1960), 대구 (Forrester and Alderdice, 1986) 등 많은 어류의 연구에서 밝혀졌다. 이 연구에서 자연산란된 수정란의 부화율은 25~37‰에서는 71.5~81.5%로서 높았고, 기형률은 가장 낮은 염분농도와 가장 높은 염분농도에서 높았다. 호르몬 주사에 의한 수정란의 부화율은 46.0~76.7% 범위로서 자연산란에 비

해 전체적으로 낮았지만, 각 실험구간에 있어 유의차는 인정되지 않았다. 비록 자연산란된 알의 부화율이 다소 높았지만, 실제 종묘생산 과정에서 독가시치의 알은 점착성 알이기 때문에 알 관리나 성공적인 부화를 위해서는 호르몬처리에 의한 인공수정이 보다 효율적일 것으로 판단된다.

염분농도별 부화직후 자어의 전장은 저염분에서 보다 컸고, 고염분으로 갈수록 점차 작아지는 경향이였으며, 부화자어의 난황용적도 전장과 마찬가지로 저염분에서 훨씬 컸다. *S. guttatus* (Yong and Duenas, 1993)를 대상으로 한 연구에서도 4~40%의 염분농도 하에서 부화한 자어의 전장과 난황용적의 크기를 비교한 결과 이 연구 결과와 일치하였다. 기아상태에서 *S. guttatus*의 부화자어는 낮은 염분농도에서 더 강한 저항성을 갖는 것으로 보고하였고(Yong and Duenas, 1993), Lee et al. (1981)은 *Sillago sihama*에서 높은 염분농도에 훨씬 빠른 난황 소비로 인해 사망이 가중된다고 보고했다. 이 연구에서도 흰점독가시치 부화직후 자어는 저염분구에서 다소 높은 염분 내성을 보였지만, 점차 시간이 경과함에 따라 자연해수의 염분농도에 가까운 35‰에서 가장 오래 생존하였다. 이처럼 해산어의 부화직후 자어에 있어 낮은 염분농도에서 생존율이 높은 것은 활동의 둔화로 인한 에너지의 보존과 난황 소비를 최소화 할 수 있기 때문에 높은 염분 농도에 비해 공복상태에서도 오랜 시간 견딜 수 있는 것으로 생각된다.

일반적으로 해산어류에 있어 난황은 전기 자어기 동안 성장, 대사, 활동 하는데 이용되어지기 때문에 보다 큰 난황을 갖는 자어는 그렇지 않은 자어에 비해 생존 가능성이 훨씬 높은 것으로 알려져 왔다(Johns and Howell, 1980). 독가시치류의 자어 사육 기간중에 부화 후 2~6일 사이에 높은 사망이 발생하는데, 이는 적당한 먹이생물의 부족, 물리적 섭식 능력의 저하, 내부적 영양으로서 난황의 질적 저하 등이 중요한 요인으로 작용한다(Lam, 1974; May et al., 1974; Westernhagen and Rosenthal, 1975).

특히, 빠른 난황 흡수와 불충분한 먹이로 인한 기아는 *S. guttatus* 자어의 사망을 증가시키는 주된 요인으로 인식되어 왔다. Avila and Juario (1987)는 난황과 유구가 흡수되기 이전에 소화관의 형태적, 기능적 분화가 이루어진 상태에서 내부 영양을 완전히 소모한 뒤 자어 스스로 먹이를 섭식할 능력이 없는 기아상태는 자어의 높은 사망률의 주된 원인으로 분석했다. 이 연구에서 수온 26~29℃일 때 흰점독가시치 자어의 난황은 24시간 내에 약 80%이상 흡수되었고, 부화 후 56시간 내에 난황이 완전히 흡수되어 수온이 높을수록 난황흡수는 더욱 빨라져, May et al. (1974)의 보고와 일치하였다. Bagarinao (1986)에 의하면 실험 대상 어종 중 흰점독가시치는 다른 어종에 비해 상대적으로 난황의 크기가 작기 때문에 난황흡수가 빠르게 진행되는 것으로 보고하였다. 따라서 흰점독가시치의 난황은 소형이고, 난황흡수 속도가 참돔, 돌돔, 농어 등 일반적인 온대성 어류보다 훨씬 빠르기 때문에 상대적으로 외부 영양단계로의 전환과정에서 섭식 능력 부족으로 초기에 높은 사망의 한 원인이 되는 것으로 판단된다.

어류의 경우 일반적으로 난황보다는 유구가 다소 늦게 흡수된다고 알려져 왔다(Houd et al., 1976). 붉바리의 경우 난황과 유구가 소모되는 시간은 유구가 난황보다 약 12시간 정도 느리게 진행된다고 보고하였다(Lee and Hur, 1997). 이 연구에서는 23~26℃에서 약 63시간 내에 유구가 완전하게 흡수되었고, 23℃에서는 약 72시간 내에 유구 흡수가 완료되어 난황 보다 8~10시간 정도 느리게 진행되어, 붉바리에서와 유사하였다.

흰점독가시치 자어의 수온별 개구시간은 23℃, 26℃, 29℃, 32℃에서 각각 52, 40, 37, 33시간으로서 저수온에서 고수온으로 갈수록 점점 짧아지는 경향이였다. 독가시치 속의 *S. fuscescens* (Fujita and Ueno, 1954)에서는 23.5~26.0℃에서 48시간 만에 개구되어 이 연구에서와 큰 차이는 없었다.

입의 빠른 발달은 내부영양에서 외부영양으로의 빠른 전환을 가져온다

(Watanabe and Kiron, 1994). 한편, 흰점독가시치 부화자어의 입 크기는 부화 후 72시간까지는 0.103~0.117 mm이었고, 시간이 경과함에 따라 상악장이 점차 증가하여 부화 후 96시간째에는 0.136 ± 0.021 mm이었다. 이것을 Shirota (1970)의 방법에 따라 계산한 자어의 구경 d 는 0.166~0.193 mm, $0.75d$ 는 0.125~0.145 mm, $0.5d$ 는 0.083~0.097 mm이었다. 이러한 결과는 붉바리(Kayano, 1988)에서 먹이를 섭취할 수 있는 최소 구경을 $0.5d$ 로 가정할 때의 입 크기 0.078~0.120 mm 보다 약간 작았다. 또한 최초로 섭식할 때 자어의 평균 전장은 돌돔(Kumai, 1984) 3.17 mm, 넙치(Rho and Pyen, 1986) 3.4 mm, 붉바리(Kayano, 1988) 1.8~2.0 mm이다. 이 연구에서 흰점독가시치 자어는 2.81 mm로서, 자어의 전장에 비해 입 크기가 상대적으로 작아 초기 먹이생물을 정상적으로 섭취하는데 상당한 어려움이 있었다.

종묘생산에 일반적으로 널리 사용되고 있는 rotifer의 평균 배갑장은 25°C 수온조건하에서 *B. plicatilis*는 266 μm , *B. rotundiformis*는 137~156 μm 으로 보고되었다(Hwang and Pyen, 1995). 따라서 흰점독가시치 자어가 섭이할 수 있는 최소 크기는 83~97 μm 으로 볼 때, 가장 소형인 rotifer도 흰점독가시치 자어의 초기 먹이로서 너무 커서 정상적인 섭식이 불가능하다고 판단된다.

해산어류 중에서 넙치(Rho and Pyen, 1986), 돌돔(Kumai, 1984), 송어(Kuo et al., 1973) 등과 같이 부화후 일정시간이 경과된 후 입이 열리는 종이 있는 반면, 쥐노래미, *Hexagrammos otakii* (Kim et al., 1993)와 장갱이(Lee, 1996) 등과 같이 부화시에 이미 입과 항문이 열려있는 종도 있다. 전자의 경우는 부화부터 섭식할 때까지는 어느 정도 시간이 있지만, 후자의 경우는 먹이 공급이 빨리 이루어져야 한다. 그러나 흰점독가시치의 경우는 입 크기가 작고 난황흡수 속도가 다른 어종에 비해 빠르기 때문에 적당한 시기에 입 크기에 맞는 먹이를 공급하는 것이 중요하다. 이 연구에서

흰점독가시치 자어의 최초 섭식은 난황 흡수가 거의 완료된 시점인 부화 60시간째 바윗골의 trochophore 유생이 소화관에서 일부 관찰되었고, 부화 후 72시간째부터 전체 조사개체 중 약 25% 정도가 섭식하였다. 부화 후 4 일째에는 처음으로 섭식된 rotifer가 관찰되었다.

먹이를 공급하지 않은 상태에서 최대 생존일수는 수온 23℃, 26℃, 29℃, 32℃에서 각각 84시간, 132시간, 96시간, 60시간이었다. 이러한 결과는 돌돔 6일(Fukusho, 1979), 자주복 16일(Han, 1998)에 비하여 현저하게 낮았다. 따라서 흰점독가시치 자어는 난황을 흡수하고 외부로부터 먹이 섭식이 곧바로 이루어져야 정상적인 성장과 생존이 가능하리라 생각한다.

수온 21.2~27.2℃ 조건에서 자치어의 초기 성장은 부화 후 10일째 자어의 평균 전장은 4.11 ± 0.49 mm, 20일째 13.30 ± 2.00 mm, 30일째 29.00 ± 2.31 mm였다. 이와 유사한 수온조건에서 *S. guttatus*는 부화 28일째 평균 전장 14.45 ± 1.59 mm (Hara et al., 1986)였고, *S. lineatus*에 있어서는 부화 30일째 평균 전장이 17.7 mm (Bryan and Madraisau, 1977)로서 이 연구에 비해 성장이 느렸다. 이러한 성장차이는 어종간 초기 성장 패턴의 차이와 자치어의 성장단계별로 적당한 먹이 전환이 충실히 이행되지 않았던 것에 기인되는 것으로 판단된다. 생존율은 부화 직후부터 난황이 완전히 흡수하는 부화 3~5일 사이에 전체 사육량의 70~80%가 사망하여 초기 생존율이 아주 저조하였으며, 부화 후 30일째 평균 생존율은 2.8%였다. 어류에 있어 난황을 다 소비하고 외부로부터 영양을 공급받기 시작하는 부화 직후 자어를 가장 위험한 시기(critical period)로 분류되고 있으며, 이러한 위험기는 어류의 발육 초기에 몇회에 걸쳐서 일어나 대량 폐사를 가져온다 (Watanabe and Kiron, 1994). Kamler (1992)는 이러한 위험기의 원인을 내부적인 요인과 외부적 요인으로 나누고있으며, 내부적 요인으로는 어미에서 기인하거나 알의 발생중에 일어나는 배체의 결함으로 인해 부화 후 대

량 폐사하는 현상을 말한다. 외부적 요인으로서는 질병이나 첫 먹이 섭식 시기에 적절한 먹이를 섭취하지 못하거나 다른 생물로부터의 포식 당하는 등의 생물학적 요인과 산소부족, 온도, 염분농도 등의 비생물적 요인으로 나누고 있다. 들뜸에 있어서 Fukusho (1979)는 부화 후 7~10일째와 부화 후 20일 전후로 2회에 걸쳐 대량 폐사가 발생하는데 이러한 원인은 적당한 먹이 생물의 섭식 실패와 영양적인 결핍에 의해 초래되는 현상으로 보고했다. 이 연구에서 흰점독가시치는 부화 후 3~5일 사이에 대량 폐사하여 이 시기가 위험기로 판단된다. 흰점독가시치는 개구에 있어 구경크기가 소형이기 때문에 내부 영양단계에서 외부로부터 최초 섭식하는데 짧은 시간이 요구되는데, 입 크기에 맞는 적당한 먹이생물을 섭식하지 못한 것이 주된 원인으로 생각된다.

먹이 공급 계열에 따른 흰점독가시치 자어의 초기 생존은 부화 후 1일째부터 참굴의 trochophore 유생과 소형 rotifer를 공급한 실험구에서 부화 후 10일째까지 생존율은 3.3%였으나, 대형 rotifer를 단독 공급한 실험구나 섬모충류와 함께 소형 rotifer를 공급한 실험구에서는 부화후 6일 이내에 모두 사망하였다. 이러한 결과는 기존에 해산어류 종묘생산에서 일반적으로 적용되어온 먹이 공급 체계(rotifer → *Artemia* → 배합사료)로는 흰점독가시치 자어 사육에 적용하기가 곤란하다. 즉, 흰점독가시치 자어는 소형 rotifer도 섭식이 불가능하였고, 유일하게 참굴의 trochophore 유생(60 μm)을 섭식하여 첫 먹이로서 적당하다고 생각되지만, 참굴 유생의 충분한 양적 확보가 곤란한 실정이다.

참돔 자어가 1회에 먹을 수 있는 rotifer의 양은 체중의 7~10%이며, 전체 자어중 50% 이상이 만복 상태까지 섭식한다고 보고하고 있다 (Kuronuma and Fukusho, 1984). 평균 전장 7 mm 참돔 자어의 rotifer 1회 섭식량은 49.8개체, 10 mm로 성장하면서 194.5개체로 급속히 증가하였고, 장

갱이(Lee, 1996)의 경우는 평균 전장 7 mm 자어 일 때 23.1개체, 10 mm로 성장하면서 94.9개체로 증가하였다. 흰점독가시치 자어는 평균 전장 3.8 mm 일 때 1회 섭식량은 31.6개체, 7.1 mm 일 때 78.7 개체였고, 전장이 10 mm로 성장하면서 섭식량도 급격히 증가하여 자어 1마리가 평균 179.2개체를 섭식하여 참돔과 비슷하지만, 장갱이 보다는 월등히 많은 양을 포식하는 것으로 조사되었다.

적당한 크기의 먹이생물은 자어에 있어 최초로 먹이 붙임을 성공적으로 수행하는데 기본적으로 중요한 고려의 대상으로 인식되어 오고 있다. 해산 어 종묘생산 과정에서 초기 먹이생물로서 널리 이용되고 있는 rotifer는 *Brachionus plicatilis*와 *Brachionus rotundiformis*의 2종이다. 이러한 rotifer의 크기는 일반적으로 150~300 μm 로서, 입 크기가 작은 자어의 먹이로서는 부적합하여 보다 작은 크기의 rotifer (초소형 80~100 μm)의 확보가 진행되고 있다(Snell and Carrillo, 1984; Polo et al., 1992). Polo et al. (1992)은 *Sparus aurata* 자어의 초기 먹이로서 대형과 소형 rotifer를 혼합 공급한 결과, 4.3 mm (45 μg) 이하의 자어는 소형 rotifer를 섭식하고, 5.1 mm (90 μg) 이상인 자어는 대형을 선택적으로 섭식하였다. 독가시치 속의 *S. guttatus* (Kohno et al., 1988) 자어에 있어서도 최초 먹이 섭식은 부화 후 56시간째 확인되었고, 이때 섭식된 rotifer의 배갑장은 125 μm 이하의 소형 개체만을 선택적으로 섭식하는 것이 밝혀졌다. 이 연구에서도 부화 후 5일째 소형 rotifer 만을 단독으로 공급한 자어의 사육수조 안에 rotifer의 배갑장은 평균 136 μm 였고, 자어가 섭식한 rotifer의 배갑장은 평균 125 μm 으로 Kohno et al. (1988)의 연구와 일치하여 주로 소형 개체만을 선택적으로 섭식하는 것이 밝혀졌다. 또한 부화 후 13일째 소형과 대형을 혼합 급이한 결과 소형이 우점되는 가운데 대형도 정상적으로 섭식하였고, 성장함에 따라 대형 rotifer로 섭식 빈도가 전환되는 것으로 조사되었다. 이러한

결과는 일반적인 해산어의 종묘생산 과정에서 부화 후 1주일간은 소형의 rotifer를 공급하는 것이 초기 생존율을 향상시키는데 도움이 될 것이고, 특히 독가시치류나 능성어류와 같은 소형의 입 크기를 갖는 어종에 있어서는 소형 rotifer의 공급시기를 더 늘리는 방안과 대형 rotifer를 혼합 급여 하는 방안을 적극 고려해야 할 것으로 생각된다.

해산어 종묘생산 과정에서 rotifer 다음 단계 먹이 생물로서 유용하게 이용되는 *Artemia* 유생에 대한 일간 섭식량 조사를 보면, 전장 7~10 mm의 감성돔 자어에서 100~120개체를 섭식하였고(Lee and Rho, 1987), 전장 10 mm의 넙치 자어에서는 120~140개체(Rho and Pyen, 1986), 전장 9.45 mm 조피볼락 자어에서는 242개체를 섭식한 것으로 조사되었다(Hyun and Rho, 1996). 이 연구에서는 평균 전장 9.9 mm 흰점독가시치 자어의 일간 섭식량은 232~577개체로서 평균 438개체를 섭식하여 감성돔, 넙치, 조피볼락 등과 비교할 때 월등히 많은 양을 섭식하는 것으로 조사되었다. 이와 같이 어종간에 섭식량의 차이는 먹이의 밀도 등 사육조건과 사육수온에 따라 다소 차이가 발생하는 것으로 생각되며, 흰점독가시치 경우는 초기 입 크기가 작아 섭식물이 다소 저하할 것으로 판단하기 쉬우나 다른 어류에 비해 소화관의 길이가 길어 상대적으로 섭식량이 많은 것으로 생각된다. 따라서 흰점독가시치 자치어의 소화관의 구조와 발달과정을 조사하여 먹이 섭식과의 관계를 구명하는 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

앞의 연구 결과를 토대로 1999년도에 실시한 대량 종묘생산 실험은 해산어류 종묘생산에서 일반적으로 실내 사육수조에서 실시하던 기존의 방법에서 탈피하여 야외 수조에서 초기 사육을 실시한 결과 가시적인 성과를 거두었다. 위에서 언급한 바와 같이 독가시치류는 부화하여 난황 흡수가 빠르고, 외부 영양 흡수 단계에서 입 크기에 맞는 적당한 먹이생물을 확보하지 못해 대부분의 종묘생산 실험에서 큰 성과를 거두지 못하고 실패하였다

(Lam, 1974). 이 연구에서는 이러한 초기 섭식을 원활하게 하기 위해 야외 수조를 이용하여 자어사육 수조내에 물 만들기를 실시하고 동·식물 플랑크톤이 번식하여 자연 생태계에 가까운 서식 조건을 만들어 먹이생물의 다양성을 확보하는데 주력하였다.

자어의 성장에 영향을 미치는 요인들은 온도(Tandler et al., 1989), 광주기(Duray and Kohno, 1988), 먹이계열과 먹이 선택성에 따른 적절한 먹이 전환(Polo et al., 1992) 등이다.

독가시치류 자어 사육 기간중에 난황흡수와 더불어 외부 영양 섭취 단계에서의 먹이생물 확보를 위해 rotifer 이전 단계 먹이로서 기존에 사용되어 온 참굴의 trochophore 유생은 크기 면에서는 적당하다고 인식되어 왔다 (Juario et al., 1985; Hara et al., 1986). 그러나 우리나라 남해안에 서식하는 참굴은 산란기가 5월~6월이기 때문에 포란하고 있는 모패를 종묘생산 시기에 확보하기가 무척 어렵다. 필리핀에서도 *S. guttatus*의 종묘생산 과정에서 초기 단계(부화 후 2~5일) 먹이로서 굴 유생은 적당하지만 굴 모패 가격이 비싸고, 필요한 시기에 손쉽게 구할 수 없다는 단점이 있는 것으로 보고 하였다(Juario et al., 1985; Hara et al., 1986). 이 연구에서 대량 종묘생산에서 먹이로서 사용한 바윗굴은 흰점독가시치 산란기인 7~8월에 생식소가 최대로 발달하여 충분한 양의 trochophore 유생을 부화직후 자어에게 첫 먹이로서 공급할 수 있었다. 바윗굴의 trochophore 유생을 1주일간 흰점독가시치 자어에 공급한 결과 부화 후 3일째 자어의 소화관 내에서 섭식이 관찰되었으며, 부화 후 4일째부터는 유생의 섭식량도 증가하였다. 따라서 바윗굴 유생은 참굴 유생과 더불어 rotifer 섭식 전까지는 아주 유용한 먹이생물로서 적당할 것으로 판단되지만, 바윗굴 모패는 자연산의 자원량이 크게 줄어 대량으로 구입하기가 힘들다는 단점이 있다.

해산어 종묘생산 과정에서 초기에 다양한 미세조류의 첨가는 자어기 동

안 양호한 성장과 생존율의 결과를 가져왔고(Bromley and Howell, 1983; Naas et al., 1992), 수질안정과 사육수조내 rotifer의 영양강화 효과를 기대할 수 있는 것으로 보고되고 있다(Reitan et al., 1993). 그러나 Juario et al. (1985)은 *S. guttatus*의 자어 수조에 *Tetraselmis* sp.와 *Isochrysis galbana*를 첨가하여 부화 2일째부터 자어의 장내에서 발견되었지만, 자어가 직접 먹이로서 이용하였는지는 확인하지 못했다. 이 연구에서도 흰점독가시치 자어가 갓 태어난 어린 rotifer를 먹을 수 있도록 *N. oculata*를 부화 후 2주일간 자어 사육 수조에 첨가시켜 주면서 rotifer의 증식을 가능하게 하였다. 미세조류는 rotifer 배양을 위한 먹이뿐만 아니라, 자어사육 기간동안 지수상태를 유지하는 짧은 기간 동안에 수조내에 잔존하는 rotifer의 영양 공급원으로서 중요한 역할을 하는 것으로 생각된다. 그리고, 자어를 수용하기 전에 미리 물 만들기를 통해 규조류의 배양과 일부 코페포다류의 발생으로 인해 먹이 종 조성을 다양화하여 자어 사육 수조를 자연 생태계와 비슷한 조건으로 유지하려고 노력하였다. 그러나 이러한 시도는 뚜렷한 효과를 증명하지는 못했지만, 앞으로 좀더 과학적인 분석을 통하여 사육시스템의 개선이 자어의 초기 생존율에 미치는 영향에 관하여 구체적인 연구가 필요하다.

굴 유생의 충분한 확보가 곤란한 상황에서는 보다 소형 rotifer의 확보는 굴유생의 공급 기간을 단축시킬 수 있을 것이다. Hara et al. (1986)은 소형의 rotifer를 확보하기 위한 방법으로는 망목으로 걸러서 보다 소형인 rotifer (SS형) 만을 선별하여 분리 배양하는 방법과 원종 strain을 분리 배양하는 방법을 제시하였다. 초소형 rotifer는 필리핀, 인도네시아, 싱가포르, 대만, 베트남 등 동남아시아에 많이 발견되고 있다(Fukusho and Okauchi, 1982). Tsukashima et al. (1983)은 이러한 방법으로 rotifer를 걸러서 소형 개체를 이용하여 청보리멸, *Sillago japonica* 자어에 공급하여 양호한 생존

을 얻었다. 또한 사육 환경을 조절하여 rotifer를 소형화하는 방법으로 Fukusho and Iwamoto (1980)는 수온에 따라 rotifer의 크기도 변한다고 보고하였지만, Snell et al. (1984)은 배갑장의 크기는 근본적으로 유전적인 변이에 의해 결정될 뿐 수온, 염분, 먹이 등의 환경적인 요인은 큰 영향을 미치지 않는다고 보고하였다.

*Artemia nauplii*는 날로 가격이 상승하여 구입하는데 경비가 많이 지출되기 때문에 양식 경영에 어려움이 있지만 지금까지 해산어류의 종묘생산 과정에서 rotifer 다음 단계 먹이생물로서 유용하게 이용되어 왔다. May et al. (1974)은 흰점독가시치의 치어를 대상으로 너무 과도한 *Artemia nauplii* 공급은 대량 사망의 결과를 초래하였다고 했지만, 독가시치류의 변태기 먹이생물로서 *Artemia nauplii*는 매우 유효한 먹이생물로 인식되어 왔다(Bryan and Madraisau, 1977; Hara et al., 1986; Juario et al., 1985). 이러한 연구에서는 *Artemia nauplii*의 공급 기간을 변태기부터 최소한 15~25일간 지속하였지만, 이 연구에서는 일찍 배합사료 먹이 불입에 성공하여 *Artemia nauplii* 공급 기간을 10일로 단축하여 경비 절감과 함께 영양결핍에 따른 폐사를 최대한 억제할 수 있었다. 현재 양질의 초기 배합사료의 개발로 인해 변태기 이전부터 배합사료의 먹이 불입에 성공한다면 *Artemia nauplii* 공급 단계를 생략하고 rotifer와 배합사료 만으로도 독가시치 종묘생산은 충분히 가능할 것으로 판단된다.

독가시치류는 양식하는데 있어, 초기 성장이 빠르고 질병에 강할 뿐만 아니라 환경 변화에 내성이 강한 장점이 있다(Lam, 1974). 이 연구에서도 23 m³ 수조에서 종묘생산 실험을 실시한 결과, 수온 23.0~28.0℃ 범위에서 부화 후 10일째 평균 4.9 mm, 부화 후 30일째 30.9 mm, 부화 후 40일째 51.1 mm로 성장하였다. 돌돔의 경우 부화 35일째 평균 전장이 19.3 mm (Kumai, 1984), 감성돔은 부화 후 38일째 평균 전장이 15.79 mm (Lee and Rho,

1987)로서 흰점독가시치의 초기 성장이 현저하게 높았다. 또한 생존율은 부화 후 3일째 66.5%에서 난황 흡수가 완료되면서 외부 먹이 섭식 단계인 부화 후 5일째 14.9%로 급격히 낮아졌지만, 그 이후부터는 거의 폐사 개체가 발생하지 않아 부화 후 50일까지는 10.7%의 생존율을 유지하였다. 따라서 흰점독가시치의 종묘생산 과정에서 첫 먹이 섭식의 성공 여부는 종묘생산의 성패를 좌우할 만큼 중요한 일이며, 이와 함께 먹이 공급 계열의 전환이 필요할 것으로 생각된다.



V. 요약

제주 연안에서 주로 어획되는 연안 정착성 고급 어종인 흰점독가시치, *Siganus canaliculatus* 양식 기술개발을 목적으로 생식주기, 실내에서의 산란유도 및 초기생활사, 부화 자어의 먹이 섭취, rotifer와 *Artemia nauplii*에 대한 섭식 생태 등 종묘생산에 관한 일련의 연구와 양성 실험을 양식생물학적 측면에서 실시하였다.

1. 생식주기

생식주기 조사에 사용된 흰점독가시치 암컷(n=196)의 평균전장과 체중은 각각 29.3 ± 3.2 cm, 354.2 ± 115.3 g이었고, 수컷(n=265)은 각각 28.6 ± 2.6 cm, 319.8 ± 83.3 g이었다. 생식소중량지수는 암수 비슷한 경향이었으며, 암컷은 5월까지는 낮게 유지되다가 6월부터 급격히 증가하여 산란기인 7월에 9.65 ± 1.96 으로 연중 가장 높았고, 그 이후 급격하게 감소하여 9월에 0.65 ± 0.28 로 가장 낮았다. 수컷은 7월에 10.00 ± 4.27 로 가장 높았고, 10월에 0.25 ± 0.10 으로 가장 낮았다. 암컷의 간중량지수는 7월에 2.34 ± 0.39 로 최대치였고, 최소값은 4월에 1.26 ± 0.22 였다. 수컷은 7월부터 증가하여 10월에 1.87 ± 0.30 으로 최대치였고, 4월에 1.27 ± 0.21 로 가장 낮았다. 생식주기는 암컷의 경우 초기 성장기(2~5월), 성장기(5~6월), 성숙기(6~7월), 완숙 및 산란기(7~8월), 회복기(8~4월)로 나눌 수 있다. 수컷은 초기 성장기(10~4월), 성장기(4~5월), 성숙기(5~6월), 완숙 및 방정기(6~8월), 회복기(8~12월)로 나눌 수 있었다. 따라서 이 종은 난소의 발달과정과 산란기에 난소에 성숙한 난모세포의 높은 분포 비율로 보아 난군 동시 발달형으로서 1회 산란 어종으로 확인되었다.

2. 산란유도 및 초기 생활사

흰점독가시치의 양질의 수정란 확보를 위해 자연산과 인공산을 대상으로 태반성성선자극호르몬(HCG)을 500~1,500 IU 농도로 산란기에 주사하여 배란을 유도하였다. 자연산 실험구에서는 평균 72.2%가 배란하였고, 인공산의 배란 유도율은 67.0%였다. HCG처리 후 배란이 유도되기까지 소요시간은 자연산이 77~270시간이었고, 인공산은 192~360시간이었다. 배란 후 GSI와 Pseudo-GSI는 자연산에서 각각 평균 28.6%, 24.0%였고, 인공산에서 각각 18.0%, 14.7%였다. 수정률은 모든 실험구에서 92.8~98.4%로 높았으며, 자연산 실험구에서 배체형성률과 부화율은 HCG 농도가 어체중 kg 당 500 IU와 1,000 IU에서 각각 53.2%, 72.5%였다.

자연 산란은 1997년과 1998년에 걸쳐 실내수조에서 자연산란을 시켰다. 실험에 사용한 암컷의 체중은 275.1~832.5 g이었고, 수컷은 247.5~510.3 g이었다. 산란은 1997년은 8월 12일부터 15일 사이에 이루어졌으며, 1998년에는 7월 31일부터 9월 4일까지 진행되었다. 산란은 상현과 만월 사이에 주로 관찰되어 달 주기성이 인정되었다. 산란 행동은 암컷 1마리에 수컷 1~2마리가 짝을 지어 유영하였으며 산란은 밤낮으로 행하여졌다. 암컷 1마리당 산란수는 190,500~866,300범위였다. 수정란의 난경은 평균 0.58 ± 0.02 mm이었으며, 3~10개의 크고 작은 유구를 가진 침성 점착란이었다. 산란된 알의 수정률은 85.6~93.6%였고, 부화율은 80.4~88.8%였다.

난발생 실험은 수온 25.0℃에서 수정 후 58분만에 2세포기, 2시간 20분에 32세포기, 3시간만에 상실기로 되었다. 수정 후 5시간 30분에 낭배기, 7시간이 경과되었을 때 배체가 형성되었고, 수정 후 30시간만에 부화가 시작되었다.

부화 자어의 전장은 평균 2.03 ± 0.13 mm이었고, 입은 열려있지 않았다. 부화 4일째 자어는 평균 전장 2.6 ± 0.16 mm로 성장하였으며, 난황과 유구는

거의 흡수되었고, 섭식 행동을 활발하게 보였다. 부화 30일째 치어는 평균 전장 20.8 ± 0.21 mm로서 모든 지느러미의 극 수와 연조 수는 정수에 도달하였으며, 몸 전체에 옅은 백색 반점이 산재되어 나타났다.

3. 종묘생산과 양성

수정란 및 자어의 염분 내성 실험에서 수정란의 부화율은 염분 15‰에서 57.9%로 낮았으며, 25~37‰에서는 71.5~81.5%였고, 기형률은 15‰에서 24.5%로 가장 높았다. 부화 자어는 37‰에서 72시간 생존하였으나, 35‰에서는 108시간 동안 생존하였다.

초기 자어의 생존 특성과 관련하여 난황과 유구의 흡수 시간은 수온이 높을수록 짧았으며, 수온 26~32℃ 범위에서 부화 후 48시간 이내에 90% 이상의 난황과 유구가 흡수되었다. 수온(WT)에 따른 개구시간(MOT)은 $MOT = 2861.1WT^{-1.2918}$ ($R^2 = 0.9438$)의 회귀방정식으로 나타났다. 부화 자어의 최초 먹이 섭식은 부화 후 62시간째였으며, 소화관내에서 rotifer가 발견된 시점은 부화 후 96시간째였다.

자치어의 성장은 수온 21.2~27.2℃, 염분 농도 31.4~34.6‰에서 부화 후 30일째에 평균 전장은 29.0 ± 0.20 mm, 평균 체장은 25.1 ± 0.19 mm였다. 부화 후 3~5일째에 생존율이 20~30%로서 급격히 감소하였으며, 30일까지의 생존율은 평균 2.8%였다. 환점독가시치 자치어의 전장(TL)에 대한 체장(BL), 체고(BH), 체중(BW)의 관계식은 다음과 같다.

$$BL = 0.8565TL + 0.0852 \quad (R^2 = 0.9996)$$

$$BH = 0.3207TL - 0.5052 \quad (R^2 = 0.9641)$$

$$BW = 0.0652TL^{2.3508} \quad (R^2 = 0.9925)$$

환점독가시치 자어의 먹이 계열별 생존율 실험은 부화 후 1일째부터 참굴의 trochophore 유생과 *B. rotundiformis*를 공급한 실험구에서 부화 후

10일째까지 평균 3.3%가 생존하였으나, rotifer와 ciliata를 공급한 실험구에서는 정상적으로 섭식하지 못하고 부화 후 5일째 모두 사망하였다.

자어의 성장에 따른 rotifer의 1회 섭식량은 부화 후 5일째에는 평균 11개체, 부화 후 9일째에는 43개체, 부화 후 15일째에는 167개체로 급격히 증가하여 19일째에는 239개체를 섭식하였다.

*Artemia nauplii*의 일간 섭식량은 부화 후 12일째 평균 43.5개체, 부화 후 15일째부터는 섭식량이 급격히 증가하여 438개체를 섭식하였으며, 부화 후 24일째에는 자어 1마리가 하루에 평균 3,000개체를 섭식하였다.

대량 종묘생산은 야외수조(23 m²)에서 규조류를 번식시키고 나서 *N. oculata*를 첨가하면서 1주일간 물만들기를 실시하였다. 그 이후부터는 *B. rotundiformis* (136 μ m)와 copepoda류를 배양한 상태에서 수정란을 수용하여 부화된 자어를 50일간 사육하였다. 또한 바윗굴의 trochophore 유생(58~62 μ m)을 자어의 대량 폐사가 발생하는 위험기(부화 2~7일)에 공급하여, rotifer로의 먹이전환이 원활하게 이루어졌다. 부화 후 5일까지의 생존율은 14.9%, 부화 후 10일까지의 생존율은 11.1%였으며, 최종 사육 기간동안 생존율은 10.7%, 치어의 평균 전장은 65.6 ± 0.4 mm이었다.

인공종묘 생산한 흰점독가시치(전장 $2.9 \text{ cm} \pm 0.4$, 체중 0.8 ± 0.2 g)를 1997년 8월 31일부터 1998년 8월 26일까지 실내수조에서 사육하였다. 그 결과 수온이 하강하는 1997년 12월부터 1998년 4월까지의 전장 15.0 ± 1.69 mm, 체중 50.0 ± 9.52 g으로 완만하게 성장하였으나, 수온이 상승하는 5월부터 성장이 증가하여 최종 9월 28일에 평균 전장 24.2 ± 2.0 mm, 평균 체중 206.0 ± 47.3 g이었고, 생존율은 48.7%였다.

VI. 참고문헌

- Aida, K., 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleosts. Bull. Inst. Zool., Academia Sinica, Monograph. 16, 173~187.
- An, C. M., 1994. Studies on the reproductive cycle and reproductive control mechanism in a spring-spawning bitterling, *Rhodeus uyekii*. Ph.D. Thesis Nat'l. Fish. Univ. Pusan, 81 pp (in Korean).
- Avila, E. M., 1980. Hormone-induced spawning and embryonic development of the rabbitfish, *Siganus vermiculatus*. Philipp. Sci. 21, 75~108.
- Avila, E. M. and J. V. Juario, 1987. Yolk and oil globule utilization and developmental morphology of the digestive tract epithelium in larval rabbitfish, *Siganus guttatus* (Bloch). Aquaculture 65, 319~331.
- Ayson, F. G., 1989. The effect of stress on spawning of brood fish and survival of larvae of the rabbitfish, *Siganus guttatus* (Bloch). Aquaculture 80, 241~246.
- Ayson, F. G., 1991. Induced spawning of rabbitfish, *Siganus guttatus* (Bloch) using human chorionic gonadotropin (HCG). Aquaculture 95, 133~137.
- Bagarinao, T., 1986. Yolk resorption, onset of feeding and survival potential of larvae of three tropical marine fish species reared in the hatchery. Mar. Biol. 91, 449~459.
- Bagenal, T. B. and E. Braum, 1978. Eggs and early life history. In W. E. Ricker (editor), Method for Assesment of Fish Production in Fresh Water, pp. 166~198.

- Blaxter, J. H. S. and G. Hempel, 1963. The influence of egg size on herring larvae (*Clupea harengus* L.). J. Cons. int. Explor. Mer. 28, 211~244.
- Bromage, N., J. Jones, C. Randall, M. Thrush, J. Springate, J. Duston and G. Barker, 1992. Broodstock management, fecundity, egg quality and the timing of egg production in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture 100, 141~166.
- Bromley, P. J. and B. R. Howell, 1983. Factors influencing the survival and growth of turbot larvae, *Scophthalmus maximus* L., during the change from live to compound feeds. Aquaculture 31, 31~40.
- Bryan, P. G. and B. B. Madraisau, 1977. Larval rearing and development of *Siganus lineatus* from hatching through metamorphosis. Aquaculture 10, 243~252.
- Burgan, B. G. and K. A. Zselezcky, 1979. Induced spawning and early development of the rabbitfish, *Siganus argenteus* in the Philippines. Silliman J. 26(2/3), 163~171.
- Carrillo, M., N. Bromage, S. Zanuy, R. Serrano and F. Prat, 1989. The effects of modifications in photoperiod on spawning time, ovarian development and egg quality in the sea bass, *Dicentrarchus labrax*. Aquaculture 81, 351~365.
- Chung, E. Y. and T. Y. Lee, 1985. Studies on the reproductive cycle of greenling, *Agrammus agrammus*. Bull. Nat'l. Fish. Univ. Pusan 25, 26~42 (in Korean).
- Chyung, M. K., 1977. The fishes of Korea. Iljisa, Seoul, Korea, pp. 443~444.
- Crim, L. W., A. M. Sutterlin, D. M. Evans and C. Weil, 1983.

- Accelerated ovulation by pelleted LHRH analogue treatment of spring-spawning rainbow trout (*Salmo gairdnerii*) held at low temperature. *Aquaculture* 35, 299~307.
- Crim, L. W. and B. D. Glebe, 1984. Advancement and synchrony of ovulation in Atlantic salmon with pelleted LHRH analogue. *Aquaculture* 43, 47~56.
- De Leeuw, R., H. H. T. Goos, C. J. J. Richter and E. H. Eding, 1985. Pimozide LHRH induced breeding of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Bruchell). *Aquaculture* 44, 295~302.
- De Vlaming, V. L., 1972. The effects of temperature and photoperiod on reproductive cycling in estuarine gobbid fish, *Gillichthys mirabilis*. *Fish. Bull.* 70, 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.
- Donaldson, E. M. and G. A. Hunter, 1983. Induced final maturation ovulation and spermiation in cultured fish. In: W. S. Hoar, D. J. Randall and E. M. Donaldson (Editors). *Fish Physiology*. Vol. 9(B). Academic Press, New York, pp. 351~403.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range test and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1~42.
- Duray, M., 1986. Biological evaluation of three phytoplankton species (*Chlorella* sp., *Tetraselmis* sp., *Isochrysis galbana*) and two zooplankton species (*Crassostrea iredalei*, *Brachionus plicatilis*) as food for the first-feeding *Siganus guttatus* larvae. *Philipp. Sci.* 23,

41~49.

- Duray, M. and H. Kohno, 1988. Effects of continuous lighting on growth and survival of first-feeding larval rabbitfish, *Siganus guttatus*, *Aquaculture* 72, 73~79.
- Duray, M. N., 1990. Biology and culture of Siganids. *Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center, Philippines* 47 pp.
- Farris, D. A., 1960. The effect of three different types of growth curves on estimates of larval fish survival. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 25, 294~306.
- Forrester, C. R. and D. F. Alderdice, 1986. Effects of salinity and temperature on embryonic development of the Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). *J. Fish. Res. Bd. Canada* 23, 319~340.
- Fujita, S. and M. Ueno, 1954. On the development of the egg and prelarval stages of *Siganus fuscescens* (Houttuyn) by artificial insemination. *Jap. J. Ichthyol.* 3, 129~132.
- Fukusho, K., 1979. Studies on fry production of parrot fish, *Oplegnathus fasciatus*. *Spc. Rep. Nagasaki Pref. Inst. Fish.* 6, 173 pp (in Japanese).
- Fukusho, K. and H. Iwamoto, 1980. Cyclomorphosis in size of the cultured rotifer, *Brachionus plicatilis*. *Bull. Nat'l. Res. Inst. Aquacult.* 1, 29~37.
- Fukusho, K. and M. Okauchi, 1982. Strain and size of the rotifer, *Brachionus plicatilis*, being cultured in Southeast Asian countries. *Bull. Nat'l. Res. Inst. Aquacult.* 3, 107~109.

- Garcia, L. M. B., 1989. Dose-dependent spawning response of mature female sea bass, *Lates calcarifer* (Bloch), to pelleted luteinizing hormone-releasing hormone analogue (LHRHa). *Aquaculture* 77, 85~96.
- Garcia, L. M. B., 1991. Spermiation response of mature rabbitfish, *Siganus guttatus* (Bloch) to luteinizing hormone-releasing hormone analogue (LHRHa) injection. *Aquaculture* 97, 291~299.
- Garside, E. T., 1986. Effects of oxygen in relation to temperature on the development of embryos of brook trout and rainbow trout. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 23, 1121~1134.
- Go, H. B and S. Rho, 1996. Low salinity tolerance of eggs and juveniles of tiger puffer, *Takifugu rubripes*. *J. Aquacult.* 9, 43~55 (in Korean).
- Gundermann, N., D. M. Popper and T. Lichatowich, 1983. Biology and life cycle of *Siganus vermiculatus*. *Pac. Sci.* 37, 165~180.
- Han, K. N., 1998. Effects of starvation on growth, survival and feeding incidence of tiger puffer (*Takifugu rubripes*) larvae. *J. Aquacult.* 11, 521~528 (in Korean).
- Hara, S., M. N. Duray, M. Parazo and Y. Taki, 1986. Year-round spawning and seed production of the rabbitfish, *Siganus guttatus*. *Aquaculture* 59, 259~272.
- Hirose, K., P. Ishida and K. Sakai, 1977. Induced ovulation of ayu using human chorionic gonadotropin (HCG), with special reference to change in several characteristics of eggs retained in the body cavity after ovulation. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 43, 409~416.

- Hirose, K., Y. Machida and E. M. Donaldson, 1979. Induced ovulation of Japanese flounder with human chorionic gonadotropin and salmon gonadotropin, with special reference to changes in quality of eggs retained in the ovarian cavity after ovulation. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 45, 31~36.
- Holliday, F. G. T. and J. H. S. Blaxter, 1960. The effects of salinity on the developing eggs and larvae of the herring (*Clupea harengus*). *J. Mar. Biol. Ass. UK.* 39, 591~603.
- Holliday, F. G. T., 1969. The effects of salinity on the eggs and larvae of teleost. In: W. S. Hoar and D. J. Randall (Editors), *Fish Physiology*, Vol. I. Academic Press, New York, pp. 293~310.
- Hoque, M., 1994. The reproductive Biology of the rabbitfish, *Siganus canaliculatus* in Okinawa Island, Japan. M.S. Thesis Univ. Ryukyus, 53 pp.
- Houd, E. D., S. A. Berkeley, J. J. Klinovsky and R. C. Schekter, 1976. Culture of the larvae of the white mullet, *Mugil curema*. *Aquaculture* 8, 365~370.
- Hwang, H. K. and C. K. Pyen, 1995. The effects of water temperature and salinity on the propagation of rotifer, *Brachionus plicatilis*. *J. Aquacult.* 8, 59~67 (in Korean).
- Hwang, H. K., Y. J. Kang, S. G. Yang, S. C. Kim, K. M. Kim and J. U. Lee, 1999. Natural spawning of artificially produced parrot fish, *Oplegnathus fasciatus*, and the change of its egg quality during the spawning season. *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea* 56, 67~72 (in Korean).

- Hyun, C. H. and S. Rho, 1996. Studies on the early growth of rockfish, *Sebastes schlegeli*. J. Aquacult. 9, 25~42 (in Korean).
- Jang, S. I., 1996. Induced ovulation by using human chorionic gonadotropin and gonadotropin-releasing hormone analogue plus pimozide in yellow puffer, *Takifugu obscurus*. J. Aquacult. 9, 3~10 (in Korean).
- Jang, Y. J., H. K. Lim and S. K. Byun, 1995. Gonadal maturation and reproductive cycle in oblong rockfish, *Sebastes oblongus*. J. Aquacult. 8, 31~46 (in Korean).
- Johns, D. M. and W. H. Howell, 1980. Yolk utilization in summer flounder (*Paralichthys dentatus*) embryos and larvae reared at two temperatures. Mar. Ecol. Prog. Ser. 2, 1~8.
- Juario, J. V., M. N. Duray, V. M. Duray, J. F. Nacario and J. M. E. Almendras, 1985. Breeding and larval rearing of the rabbitfish, *Siganus guttatus* (Bloch). Aquaculture 44, 91~101.
- Jun, J. C., C. H. Kim, J. S. Kim, B. K. Kim and S. U. Kim, 1999. Influence of water temperature and salinity on embryonic development of stone flounder, *Kareius bicoloratus*. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea 56, 83~90 (in Korean).
- Kagawa, H. and K. Takano, 1979. Ultrastructure and histochemistry of granulosa cells of pre and post-ovulatory follicles in the ovary of medaka, *Oryzias latipes*. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 30, 191~204.
- Kamler, E., 1992. Early Life History of Fish. An energetic approach, 1st. ed. Chapman & Hall, London, U.K. 267 pp.
- Kaya, C. M. and A. D. Hasler, 1972. Photoperiod and temperature

- effects on the gonads Green sunfish, *Lepomis cynaellus* (Rafinesque), during the quiescent, winter phase of its annual sexual cycle. *Copeia* 101, 270~275.
- Kayano, Y., 1988. Development of mouth parts and feeding in the larval and juvenile stage of red spotted grouper, *Epinephelus akaara*. *Bull. Okayama Pref. Fish. Exp.* 3, 55~60 (in Japanese).
- Kim, B. H., K. M. Kim, Y. D. Lee, C. B. Song and S. Rho, 1997. Reproductive biology of the sevenband grouper, *Epinephelus septemfasciatus*. I. The effect of HCG on ovulation induction. *J. Aquacult.* 10, 55~61 (in Korean).
- Kim, Y. U., K. H. Han and B. H. Kim, 1993. The embryonic and larval development of the greenling, *Hexagrammos otakii*. *Korean J. Ichthyol.* 5, 151~159 (in Korean).
- Kissil, G. W., 1972. Experimental growth of *Siganus rivulatus*. *Oceanogr. Limnol. Res. Co. (Israel) report*, 5 pp.
- Kjorsvik, E., A. M. Jonsen and I. Holmefjord, 1990. Egg quality in fishes. *Mar. Biol.* 26, 71~113.
- Kohno, H., H. S. Hara, M. Duray and A. Gallego, 1988. Transition from endogenous to exogenous nutrition sources in larval rabbitfish, *Siganus guttatus*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 54, 1083~1091.
- Kumai, H., 1984. Biological studies on culture of the Japanese parrot fish, *Oplegnathus fasciatus*. *Bull. Fish. Lab. Kinki Univ.* 2, pp. 5~10 (in Japanese).
- Kuo, C. M., Z. H. Shehadeh and K. K. Milisen, 1973. A preliminary report on the development, growth and survival of laboratory

- reared larvae of the grey mullet, *Mugil cephalus* L. J. Fish. Biol. 5, 459~470.
- Kuo, C. M., Y. Y. Ting and S. L. Yeh, 1988. Induced sex reversal and spawning blue spotted grouper. Aquaculture 74, 113~126.
- Kuronuma, K. and K. Fukusho, 1984. Rearing of marine fish larvae in Japan. International Development Research Centre, Ottawa, Canada, 109 pp.
- Kuwamura, T., 1983. Spawning behavior and timing of fertilization in the mouthbreeding cardinalfish, *Apogon notatus*. Jpn. J. Ichthyol. 30, 61~71.
- Lam, T. J., 1974. Siganids: Their biology and mariculture potential. Aquaculture 3, 325~354.
- Lam, T. J., 1982. Applications of endocrinology to fish culture. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39, 111~137.
- Lee, C. K. and S. B. Hur, 1997. Yolk resorption, onset of feeding and survival potential of larvae of red spotted grouper, *Epinephelus akaara*. J. Aquacult., 10, 473~483 (in Korean).
- Lee, C. S., F. Hu and R. Hirano, 1981. Salinity tolerance of fertilized eggs and larval survival in the fish *Sillago sihama*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 4, 169~174.
- Lee, C. S., C. S. Tamaru and C. D. Kelly, 1988. The cost and effectiveness of CPH, HCG and LHRH-a on the induced spawning of grey mullet, *Mugil cephalus*. Aquaculture 73, 341~347.
- Lee, J. E., 1996. Spawning season and controlled seedling production of long shanny, *Stichaeus grigorjewi*. Ph.D. Thesis Nat'l. Fish. Univ.

- Pusan, 187 pp (in Korean).
- Lee, J. J. and S. Rho, 1987. Studies on the seedling production of the black porgy, *Mylio macrocephalus*. Bull. Mar. Resour. Res. Inst. Cheju Nat. Univ. 11, 1~20 (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, 523~528.
- Lee, T. Y. and S. Y. Kim, 1987. Experimental studies on the mechanism of reproductive cycle in the bluegill, *Lepomis macrochirus*. Bull. Korean Fish. Soc. 20, 489~500 (in Korean).
- Lee, Y. D. and T. Y. Lee, 1987. Studies on the reproductive cycle of damselfish, *Chromis motatus* (Temminck et Schlegel). Bull. Korean Fish. Soc. 20, 509~519 (in Korean).
- Manacop, P. R., 1937. The artificial fertilization of dangit, *Amphacanthus oramin* (Bloch and Schneider). Philipp. J. Sci. 62, 229~237.
- Manickam, P. and K. P. Joy, 1989. Induction of maturation and ovulation by pimozide-LHRH analogue treatment and resulting high quality egg production in the Asian catfish, *Clarias batrachus* (L.). Aquaculture 83, 193~199.
- Marte, C. L., N. M. Sherwood, L. W. Crim and B. Harvey, 1987. Induced spawning of maturing milkfish (*Chanos chanos* Forsskal) with gonadotropin-releasing hormone (GnRH) analogues administered in various ways. Aquaculture 60, 303~310.
- Matsuura, S., M. Matsuyama, Y. Ouchi and T. Hidaka, 1987. Maturity classification and group maturity of the red sea bream, *Pagrus*

- major*. II. Male maturity. Mar. Biol. 96, 169~172.
- May, R. C., D. Popper and J. P. McVey, 1974. Rearing and larval development of *Siganus canaliculatus* (Park). Micronesica 10, 258~298.
- McEvoy, L. A., 1984. Ovulatory rhythms and over-ripening of eggs in cultivated turbot, *Scophthalmus maximus*. J. Fish Biol. 24, 437~438.
- Naas, K. E., T. Nass and T. Harboe, 1992. Enhanced first feeding of halibut larvae (*Hippoglossus hippoglossus* L.) in green water. Aquaculture 105, 143~156.
- Nelson, J. S., 1984. Fishes in the world. 2nd ed., John Wiley and Sons, New York, U.S.A. 523 pp.
- Park, H. Y., J. Y. Lee, Y. J. Lee and H. C. Kwon, 1998. Induction of ovulation by LHRH-a and Pimozide in the bullhead, *Pseudobagrus fulvidraco*. J. Aquacult. 11, 151~158.
- Park, I. S., H. B. Kim, H. J. Choi, Y. D. Lee and H. W. Kang, 1994. Artificial induction of spawning by human chorionic gonadotropin (HCG) or carp extract (CPE) in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Aquacult. 7, 89~96 (in Korean).
- Park, M. E., Y. D. Lee and S. Rho, 1992. Gonads of the spawning period and development of the egg of the rabbitfish, *Siganus canaliculatus* (Park). Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l. Univ. 16, 67~74 (in Korean).
- Peiris, T. S. S. and J. Grero, 1972. Chemical analysis of some Ceylon fishes. Bull. Fish. Res. Stn. Sri Lanka 23, 1~7.

- Polo, A., M. Yufera and E. Pascual, 1992. Feeding and growth of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) larvae in relation to the size of the rotifer strain used as food. *Aquaculture* 103, 45~54.
- Popper, D., H. Gordin and G. W. Kissil, 1973. Fertilization and hatching of rabbitfish, *Siganus rivulatus*. *Aquaculture* 2, 37~44.
- Popper, D. and N. Gundermann, 1976. A successful spawning and hatching of *Siganus vermiculatus* under field conditions. *Aquaculture* 7, 291~292.
- Popper, D., R. C. May and T. Lichatowich, 1976. An experiment in rearing larval *Siganus vermiculatus* (Valenciennes) and some observations on its spawning cycle. *Aquaculture* 7, 281~290.
- Rahman, S., 1998. Testicular development and hormonal changes during the annual and lunar reproductive cycles of rabbitfish, *Siganus guttatus* in Okinawa. M.S. Thesis Univ. Ryukyus, 32 pp.
- Ramos, J., 1986. Induction of spawning in common sole (*Solea solea* L.) with human chorionic gonadotropin (HCG). *Aquaculture* 56, 239~242.
- Randall, J. E., G. R. Allen and R. C. Steene, 1990. Fishes of the great barrier reef and coral sea. University of Hawaii Press, Honolulu, 507 pp.
- Reitan, K. I., J. R. Rainuzzo, G. Øie and Y. Olsen, 1993. Nutritional effects of algal addition in first-feeding of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) larvae. *Aquaculture* 118, 257~275.
- Rho, S. and C. K. Pyen, 1986. Mass fry production of rock cod, *Epinephelus fario* and flat fish, *Paralichthys olivaceus*. Rept. *Aquacult. Lab. Coll. Mar. Sci. Technol. Cheju Univ.* 3, 20~37 (in

Korean).

- Shinhata, T. and Y. Shima, 1980. Seed production of *Siganus fuscescens*. Saibai Gyogyo Gijutsu Kaihatsu Kenkyu 9, 75~80.
- Shirota, A., 1970. Studies on the mouth size of fish larvae. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 36, 353~368 (in Japanese).
- Snell, T. and K. Carrillo, 1984. Body size variation among strains of the rotifer *Brachionus plicatilis*. Aquaculture 37, 359~367.
- Soh, C. L. and T. J. Lam, 1973. Induced breeding and early development of the rabbitfish, *Siganus oramin* (Scheider). Proc. Symp. Biol. Res. Nat. Dev. 49~56.
- Tandler, A., M. Harel, M. Wilks, A. Levinson, L. Brickell, S. Christie, E. Avital and Y. Barr, 1989. Effects of environmental temperature on survival, growth and population structure in the mass rearing of the gilthead seabream, *Sparus aurata*. Aquaculture 78, 277~284.
- Tsukashima, Y., N. Yoshida, C. Kitajima, S. Matsumura and C. L. Besch, 1983. Mass-rearing of the fry of Japanese whiting, *Sillago japonica* initially fed with smaller size rotifer, *Brachionus plicatilis* filtered with a fine mesh net. Suisan Zoshoku 30, 202~210.
- Wallace, R. A. and K. Selman, 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. Am. Zool. 21, 325~343.
- Watanabe, T. and V. Kiron, 1994. Prospects in larval fish dietetics. Aquaculture 124, 223~251.
- Westernhagen, H. V. and H. Rosenthal, 1975. Rearing and spawning siganids in a closed sea water system. Helgol. Wiss. Meeresunters 27, 1~18.

- Yang, S. G., J. M. Lee, J. H. Lee, K. M. Kim and C. M. An, 1997. Reproductive cycle of red horsehead, *Branchiostegus japonicus*. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea 53, 73~79 (in Korean).
- Yong, P. S. and C. E. Duenas, 1993. Salinity tolerance of fertilized eggs and yolk-sac larvae of the rabbitfish *Siganus guttatus* (Bloch). Aquaculture 112, 363~377.
- Zohar, Y. and H. Gordin, 1979. Spawning kinetics in the gilthead sea-bream, *Sparus aurata* L. after low doses of human chorionic gonadotropin. J. Fish Biol. 15, 665~670.
- 益田 · · 尼岡邦夫 · 荒賀忠一 · 上野輝彌 · 吉野哲夫, 1984. 日本産魚類大圖鑑. 東海大學出版會, pp. 231.



감사의 글

학문을 계속할 수 있도록 길을 열어주시고, 이 논문이 완성되기까지 언제나 자상한 가르침과 용기를 주신 노섭 교수님께 진심으로 감사를 드리며, 바쁘신 중에도 논문의 체제를 바로 잡아주시고 정성껏 다듬어 주신 홍성운 교수님, 정상철 교수님, 이영돈 교수님, 최광식 교수님과 여인규 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 늘 관심과 조언으로 격려를 아끼지 않으신 이정재 교수님, 이기완 교수님, 송춘복 교수님, 허문수 교수님께 진심으로 감사드립니다. 실의에 빠질 때면 새로운 희망과 따뜻한 격려의 말씀을 주신 어업학과 노홍길 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 언제나 따뜻한 애정과 자상한 가르침으로 큰 목표를 갖고 끊임없이 정진하라던 故 변충규 교수님의 영전에 이 논문을 올립니다.

어려운 여건속에서 학업을 할 수 있도록 배려하여 주시고 연구를 수행하는데 용기와 격려를 주신 국립수산진흥원 전임기 부장님, 김운 과장님, 고창순 과장님, 이종문 장장님, 강용진 분소장님과 남제주수산종묘시험장 이정의 장장님께 진심으로 감사를 드립니다.

짧지 않은 실험기간 동안 무사히 하나의 결실을 맺기까지 사육에서부터 자료분석에 이르기까지 정성껏 도움을 준 남제주수산종묘시험장 양상근 연구사님, 김성철 연구사님, 김경민 연구사님과 박성용님, 현종길님, 김영희님, 변숙녀님, 김완진님, 강두혁님, 정제두님, 최강석님께 감사를 드립니다. 이 논문을 수행하는데 어미를 구입하는데 많은 도움을 주신 위미1리 현종찬 계장님께 감사를 드리고, 굴 모패를 어렵게 구하여 직접 보내주신 남해수산연구소 김성연 연구사님과 대호수산 김봉환 사장님, 시료분석에 도움을 준 국립수산진흥원 이용가공실 민진기 연구사님께 감사를 드립니다. 생식소 조직을 처리하는데 많은 시간을 할애한 제주대학교 해양연구소 오성

림님과, 부경대학교 장윤정님께 감사를 드립니다. 연구 과정중 많은 도움과 용기를 준 한라수산 서종표 소장님께 감사를 드리고, 밤을 세워가며 실험과 자료정리에 도움을 준 김원평, 김필연 후배님을 비롯한 어류양식실험실 후배들에게 감사의 마음을 전합니다. 아울러 논문을 교정하여 주신 청평내수면연구소 윤길하 박사님께도 감사를 드립니다.

오랜 시간동안 먼먼 바다 건너 타향에서 좌절하지 않고, 한 길로 매진할 수 있도록 노심초사 뒷바라지 해 주신 부모님의 은혜에 작은 위안이 되었으면 합니다. 그리고 언제나 염려와 각별한 관심으로 든든한 후원자가 되어 주신 큰형님, 작은형님, 누님 내외분께 가슴속 깊이 감사를 드립니다. 눈이 부시게 푸르른 날에 동해안을 여행하리라던 소박한 꿈을 간직한 채 어려움을 참고 기다려 준 사랑하는 아내 오순아와, 지칠 때면 “아빠 힘내세요”를 외치며 재물을 떨어준 귀염둥이 민영이, 새 천년에 또 하나의 희망으로 태어날 아기와도 이 기쁨을 나누고자 합니다.

