

조피볼락, *Sebastes schlegeli*의 초기성장에 관한 연구

玄忠勳·盧 暹

제주대학교 증식학과

Studies on the Early Growth of Rockfish, *Sebastes schlegeli*

Choung-Hun Hyun and Sum Rho

Department of Aquaculture, Cheju National University,
Cheju 690-756, Korea

The study has been conducted to know an appropriate feeding strategy and effects of the rearing density on larval growth of the rockfish, *Sebastes schlegeli*. The results obtained are as followed ;

1. Thirty-day-old larvae reached at 25.25 ± 3.76 mm in total length and 0.23 ± 0.07 g in body weight in experiment A, at which rotifer was provided from the beginning to the end of 30-day experiment, *Artemia* from 3th to 18th day, and artificial feed from 13th to 30th day after hatching. When rotifer was provided for 30 days, *Artemia* from 6th to 18th day, and artificial feed from 18th to 30th day after hatching (experiment B), these larvae grew up to 27.52 ± 2.50 mm in total length and 0.26 ± 0.06 g in body weight. On the other hand, when rotifer and artificial feed were supplied with the same time schedule as shown in experiment B, and *Artemia* was feed from 6th to 30th day after hatching (experiment C), the total length and body weight of those larvae were 23.22 ± 3.44 mm and 0.15 ± 0.05 g, respectively.

The best result for larval growth was obtained from experiment B. The survival rates estimated were 57.6% in experiment A, 66.4% in experiment B, and 44.4% in experiment C.

2. The growth in total length of the larvae according to their rearing days could be represented by the following equations :

$$\text{Experiment A : } Y = 4.350 + 0.116X + 1.887X^2 \quad (r = 0.993)$$

$$\text{Experiment B : } Y = 4.500 + 8.931X + 2.221X^2 \quad (r = 0.994)$$

$$\text{Experiment C : } Y = 4.478 + 5.734X + 1.881X^2 \quad (r = 0.990)$$

The average number of *Artemia* nauplius intaken by the larvae was rapidly increased between 15th and 20th day after hatching, and 9, 212, 242, 750, and 1,171 nauplius were found in the different sizes of larvae, whose total length were 5.65, 6.81, 9.45, 14.96, and 24.52 mm, respectively.

3. Larval growth in total length and body weight reared at four different densities (A; 1.8 kg/m^3 , B; 4.0 kg/m^3 , C; 5.0 kg/m^3 , D; 6.2 kg/m^3) indicated that the best growth was found in experiment A, at which the larval were reared at the lower density and the final survival rates estimated were 92.9% in exp. A, 99.5% in exp. C, 89.0% in exp. B, and 88.2% in exp. D. The amount of production per cubic meter turned out to be 30.45 kg in exp. D, 25.89 kg in exp. C, 20.75 kg in exp. B and 10.48 kg in exp. A. therefore, considering both larval growth and survival rate, higher yields seemed to be attainable at the relatively high-rearing density.

Key words : Early growth, Feeding strategy, Rockfish

서 론

국민경제 향상에 따른 식생활의 변화로 고급 어류의 수요는 차츰 증대되고 있으나 남획 등으로 연안자원의 고갈현상이 심화되고 있어 양식의 필요성은 더욱 절실해지고 있다.

조피볼락, *Sebastes schlegeli* (볼락亞科 *Sebastinae*, 양볼락科 *Scorpaenidae*, 횡대目)은 난태생 어종으로서, 우리 나라 청진이남의 전 연안 및 일본 홋카이도 이남 연해 및 중국의 연안에 분포하고 있으며 연안의 얕은 바다의 암초에 서식한다(鄭, 1977).

이들은 12월~2월경에 교미하여, 3월하순~4월상순에 수정이 이루어지며, 약 1개월반 경과한 후 5월경에 산출이 시작된다고 한다(佐佐木, 1981).

우리 나라의 해산어류 양식은 1972년경부터 방어를 위주로 개발되어 왔으나 제주도과 일부 남부지방을 제외한 대부분 수역의 겨울철 수온이 7°C 이하로 내려가기 때문에 월동이 어려워 중간종묘의 크기까지 축양하여, 일본으로 출하하는 불리한 경영을 해 왔다. 그러나, 1986년부터 개발되기 시작한 넙치양식은 그 대상어종이 저수온에 강할 뿐 아니라 육상수조식 양식에 적합하기 때문에 우리 나라 전역에 급신장 추세를 보였지만, 단일품종에 국한된 관계로 가격의 불안정과 유통문제로 양식어종의 다양화가 절실한 당면과제로 부상하였다. 최근 고급어류로서 성장이 빠르고 저수온에 강해 겨울철 월동이 가능한 조피볼락이 해상 가두리 양식업자들 사이에서 넙치 못지않게 각광 받으며 유망양식 대상종으로 떠오르고 있다.

난태생어류인 볼락류에 대해서는 Laroche and Richardson (1981)의 rockfish, *S. entomeals*와 *S. zacentrus* 자치어의 발생에 관한 연구, Boehlert and Yoklavich (1984)의 여러 종류의 볼락속에 있어 혈연, 태생에너지, 생식과의 관계, Shinomiya and Ezaki (1991)의 rockfish, *S. inermis* 교배습성에 관한 연구, Laidig et al. (1991)의 Shortbelly rockfish, *S. jordani*의

초기생활사에 있어 성장변화, Bowers (1992)의 Yellowtail rockfish, *S. flavidus*의 생식주기에 관한 연구, Macfarlane et al. (1993)의 초기생활사에 있어 脂質 변화와의 관계 등의 연구가 있다.

조피볼락에 대해서는 Yamada and Kusakari (1991)의 배발생과정에 관한 연구, Hoshiai (1977)의 자치어에 관한 연구, 草刈와 森(1977), 草刈 등(1979)의 출산생태에 관한 연구, 佐佐木(1981)의 종묘생산과 양성에 대한 연구와 梁(1985)의 색광에 대한 반응, 金과 韓(1991)의 초기생활사, 金과 李(1991)의 종묘생산에 관한 연구, 李 등(1993)의 n-3계 고도불포화지방산요구량, 李와 張(1994)의 어린 시기의 성장 및 체성분 조성에 미치는 미역 첨가사료의 생리적 효과에 관한 연구, 朴 등(1993)의 자어출산과 초기성장등이 보고되어 있다. 지금까지 대부분의 연구는 유수식 사육에 의한 종묘생산이었고 지수식과 폐쇄순환여과식 방법으로 사육한 연구는 찾아 볼 수 없다.

제주도와 같이 개방된 해수면에 양식시설의 설치가 어려운 환경여건에서 육상에 효율적인 사육시설이 필연적이며, 여기에 맞는 적정 수용 밀도를 규명한다면 효과적인 양식을 기대할 수 있다.

이 연구에서는 부화직후의 자어는 지수식으로 사육하고, 73일 이후의 치어를 대상으로 폐쇄순환여과 시스템에서 사육하면서 조피볼락의 종묘생산에 적합한 자치어의 먹이계열이나 사육환경, 사육밀도별 성장, 생존율, 비만도, 일간성장률, 증육계수 등을 비교하고, 고밀도 사육의 가능성을 검토하여 조피볼락의 종묘생산과 완전양식화를 위한 기초적 기술개발을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

시험에 사용한 조피볼락 자어는 1993년 5월 22일에 인공사육한 자연산 친어로부터 산출된 전장 4.49 ± 0.18 mm, 체중 0.013 g 되는 산

출직후의 자어를 제주대학교 어류양식 실험실로 운반하여 사육하였다. 산출자어의 사육은 모두 2단계로 나누어서, 제 1단계 산출자어의 사육은 출산한 5월 22일에서 6월 21일까지 30일 동안은 지수식으로 하였으며, 2단계 밀도별 사육은 출산후 73일째 부터 순환여과 시스템에서 실시하였다.

산출자어의 지수 사육

지수식 사육에 사용한 수조는 저면이 원뿔형인 230 l 반투명 FRP수조(dia. 70×50 cm) 6개에 모래여과 해수를 130 l씩 채우고 여기에 산출직후의 조피볼락 자어를 각각 3,000미씩 수용하였다. 산출후 3일째부터 저면을 Syphon으로 청소한 후 처음 수량을 기준으로 매일 10 l씩 사육수를 보충시켜 주었다.

초기 사육에서 적절한 먹이계열을 조사하기 위하여 산출직후 자어의 기본 먹이로서 *Chlorella*로 24시간 영양강화한 rotifer, *Brachionus plicatilis*를 5~15 개체/ml 되게 공급한 것에 Fig. 1에서와 같이 3가지의 먹이계열로 나누어서 비교하였다.

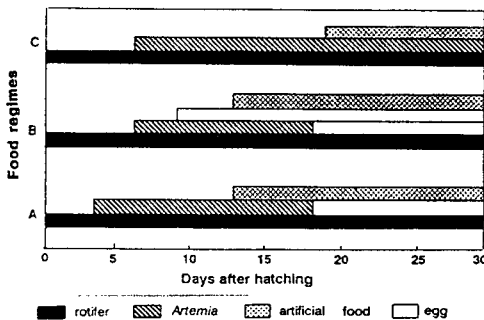


Fig. 1. Three kinds of food regimes used for rearing rockfish larvae for 30days after hatching.

A시험구: 기본먹이인 rotifer (R)에 3일째부터 18일까지 *Artemia salina*의 nauplius (3~18A) 유생을 10~20 개체/ml 유지되게 공급하였으며, 산출후 13일째부터 배합사료(13D)를 공급하였다 (이하 R-3~18A-13D 라 한다).

B시험구: A시험구와 동일하나 *Artemia*의 공

급일을 6일째부터 18일까지, 9일째부터 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*), 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 수정란(E)을 15,000 개/日 를 공급하였고, 배합사료(18D)는 18일째부터 공급하였다 (이하 R-6~18A-E-18D 라 한다).

C시험구: 모든 먹이공급 방법은 B시험구와 동일하지만 6일째부터 공급한 *Artemia* (6~30A) 를 30일까지 지속시켰고 수정란 공급은 하지않았다(이하 R-6~30A-18D 라 한다).

배합사료는 시판용 Higashimaru社 사료(입경: 300~800 μm)를 08:00~20:00시 까지 자동급이기를 이용해 공급했다.

자어 사육조내의 수질안정을 위해 *Chlorella* sp.를 사육수에 20만 cell/ml이 되게 유지시켰으며, 사육조내의 배설물과 찌꺼기는 매일 아침 저녁으로 싸이폰으로 제거했다. 자어의 성장측정은 5일 간격으로 무작위 추출하여 만능투영기와 전자저울로 측정하였으며, 생존율은 매일 바닥 청소시 죽은 개체를 수거하여 계수한 것을 생존율로 환산했다.

시험기간중의 사육환경은 매일 오전 10:00 시에 수온, pH, 비중을 측정하였다.

Artemia 포식량

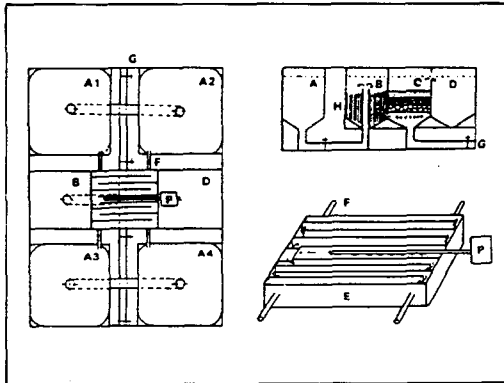
부화 5일째부터 30일까지 5일 간격으로 *Artemia* 포식량을 조사하기 위하여 1 l비이커 4개를 이용하여 조피볼락 자어를 5마리씩 수용한 후, *Artemia*의 nauplius를 1,000, 2,000, 3,000, 4,000개체씩 넣고 포식량을 조사하였다. 조사 시간은 오전 08:00~22:00(14시간)사이였으며, 먼저 시험어를 제거하고 남아있는 *Artemia*를 계수하여 각 시험구별 포식량의 평균치를 구하였다. 모든 시험은 4회 반복하였다.

치어의 밀도별 사육

실험에 사용된 조피볼락 치어는 전장 70.53 ± 0.59 mm, 체중 7.71 ± 1.93 g이었고, 사육기간은 1993년 9월 2일부터 1994년 3월 31일까지 약 7개월간이었다.

사육수조

시험에 사용된 사육수조는 Fig. 2에서와 같이 500 l PVC재질의 기부가 원뿔형인 반원통형 수조 (85 cm×85 cm×70 cm) 4개를 사각형의 여과조(118 cm×210 cm×60 cm)에 서로 연결하는 폐쇄순환여과 시스템을 만들고 여과된 물을 소형 순환펌프를 이용하여 지그재그상의 수조를 통과시킨 후 사육수로 이용했으며, 물교환은 201 l/min 순환시켰다. 수질의 안정효과를 얻기 위하여 여과조는 1차로 과판을 이용한 정여과 방식과 더불어 2차로 산호사와 굴패각을 사용한 여과 방식을 택했다.



A₁-A₄: rearing tank B, C: filter tank
 D: storage tank E: zigzag stream sedimentation tank
 F: inflow pipe G: drainage pipe
 H: corrugated chloride vinyl plate P: pump

Fig. 2. Schematic diagram of closed-recirculating sea water system for the experiment. A₁-A₄; rearing tank, B, C; filter tank D; storage tank, E; zigzag stream sedimentation tank, F; inflow pipe, G; drainage pipe, H; corrugated chloride vinyl plate, P; pump.

치어사육

치어의 밀도별사육은 각 수조별로 수용적당 수용밀도를 A: 98미(1.8 kg/m³), B: 219미(4.0 kg/m³), C: 270미(5.0 kg/m³), D: 340미(6.2 kg/m³)를 수용했다.

먹이로는 시판용 부상사료(대만산 통일사료)를 주로 이용하였으며, 섭이량은 공급량과 잔존량을

각각 측정하였다. 성장도 측정은 93년 9월 2일부터 12월 1일까지 매월 2회 실시하였고, 이후부터 종료시까지 월1회씩 체장과 체중을 측정하였으며, 체장의 크기는 모눈종이를 이용하여 만든 측정기로 1 mm까지, 체중은 전자저울을 이용해 0.01 g까지 측정했다. 생존율은 매일 조사된 폐사개체수로 역산하였으며, 일간성장률(DG), 먹이공급률(DF), 증육 계수(FC), 비만도(CF)등은 森實(1984)의 식에 의거 산출하였다.

수질측정

시험기간 중 사육수조 내의 수질측정은 매일 오전 10시에 수온, 비중, pH등을 조사하였으며, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, NO₂⁻-N, PO₄³⁻-P를 5일간격으로 측정했다.

수온과 pH는 pH meter (MODEL HM-10 P), 비중은 부평비중계(Akanuma aremeter) B호, DO는 DO meter (YSI MODEL 57), NH₄⁺-N; phenate method, NO₃⁻-N; cadmium reduction method, NO₂⁻, N; sulfanilamide-N.E.D, PO₄³⁺-P; ascorbic acid 법에 의해 측정했다.

사육수조 내의 물교환은 무기태 질소가 증가하였을 때 사육수를 환수하였고, 증발에 의한 사육수의 감량은 증발된 양만큼 담수로 보충하였다.

통계분석

측정일별 사육밀도에 따른 체장, 체중의 검정은 스탠트 그래픽스 소프트웨어(Statistical Graphics Corporation)를 사용하여 ANOVA test (Nie et al., 1975)에 의해 유의성 검정을 했다.

결 과

산출자어의 지수 사육

조피볼락 자어의 먹이제열별 초기사육을 통한 성장실험은 1993년 5월 22일부터 6월 21일까지 (30일간) 산출직후의 자어 9,000마리를 이용하여

3개의 시험구로 나누어서 지수식으로 사육했다. 모든 시험구의 수온은 16.2~23.2°C 범위였으며, 사육수 비중은 1.0200~1.0258, pH는 7.55~8.11 범위였다(Fig. 3). 시험기간 동안 사육일수별 먹이계열에 따른 각 시험구의 전장과 체중의 성장(Table 1)은 시험개시시 전장 4.49±0.18 mm, 체중 0.013 g이었던 것이 일령 20일째인 6월 11일까지는 A시험구(R-3~18A-13D), B시험구(R-6~18A-E-18D), C시험구(R-6~30A-18D)의 전장은 각각 14.90±0.88 mm, 15.90±1.11 mm, 14.25±1.32 mm로 돌돔과 넓치 수정란을 급이한 B시험구가 다른 두 시험구에 비해 성장이 가장 좋았다. 또한, 체중도 각각 0.047±0.01 g, 0.050±0.01 g, 0.043±0.01 g으로 B시험구가 가장 좋았다. 시험구간의 성장차이를 검정한 결과, 95% 수준에서 전장의 성장은 B시험구에서 A시

험구, C시험구와 유의차가 인정되었고, 체중의 성장에서 B시험구는 A시험구와는 유의차가 인정되지 않았으나, C시험구와는 차이가 인정되었다(P<0.05). 시험 종료시에는 B시험구(27.52±2.50 mm, 0.260±0.06 g)가 A시험구(25.21±3.76 mm, 0.230±0.07 g), C시험구(23.52±3.44 mm, 0.149±0.05 g)보다 성장이 빨랐다. 각 시험구간의 성장차이를 검정한 결과 A시험구와 B시험구는 차이가 인정되지 않았지만, B시험구와 C시험구는 유의적이었다(P<0.05).

체중의 성장에서는 B시험구는 A시험구와 차이가 인정되지 않았지만, C시험구와는 유의차가 인정되었으며, A와 C시험구사이에서도 유의적이었다(P<0.05).

각 시험구별 사육일수에 따른 전장과 체중과의 관계는 Fig. 4와 같고, 시험개시시부터 시험종료시까지의 사육일수에 따른 각 시험구의 성장관계식은,

$$\text{A 시험구 : } Y = 4.350 + 0.117X + 1.887X^2 \quad (r = 0.993)$$

$$\text{B 시험구 : } Y = 4.500 + 8.931X + 2.221X^2 \quad (r = 0.994)$$

$$\text{C 시험구 : } Y = 4.478 + 5.734X + 1.881X^2 \quad (r = 0.990)$$

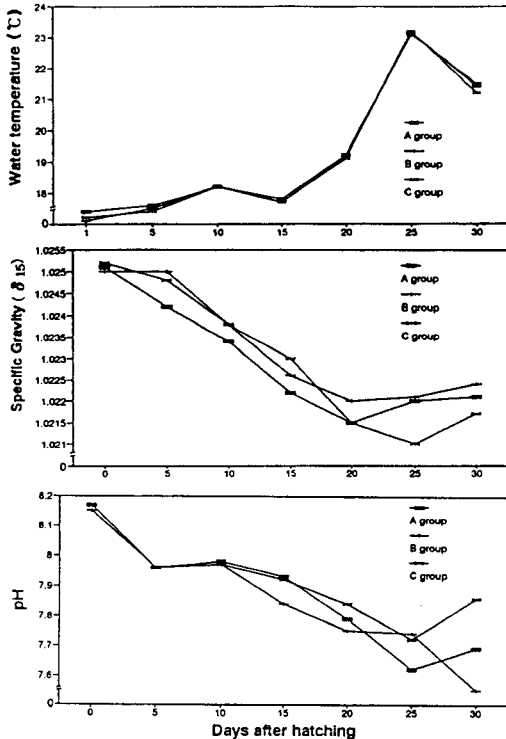


Fig. 3. Fluctuation of water temperature, specific gravity, and pH during the period of rearing rockfish larvae.

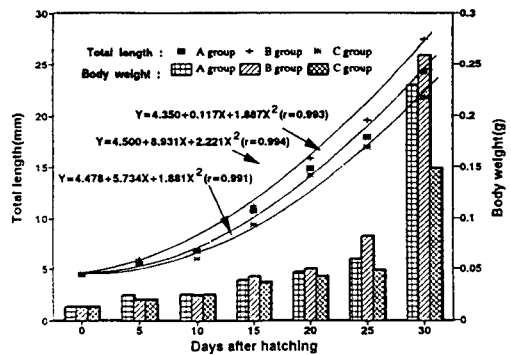


Fig. 4. Changes in total length and body weight of rockfish larvae reared by using three different food regimes.

사육기간중의 각 시험구별 생존율은, A시험구가 57.6%, B시험구 66.4%, 그리고 C시험구가 44.4

Table 1. The growth in both total length and body weight of rockfish larvae by using three different food regimes during the experimental period of May 22 to June 21 in 1993

Date	Days of rearing	Experimental No.	Mean±S.D.	
			TL (mm)	BW (g)
May 22		A	4.49±0.18	0.013
		B	4.49±0.18	0.013
		C	4.49±0.18	0.013
May 27	5	A	5.55±0.24 ^b	0.024
		B	5.96±0.19 ^a	0.020
		C	5.78±0.32	0.020
June 1	10	A	6.79±0.65 ^a	0.025
		B	6.83±0.79 ^a	0.024
		C	6.04±0.67 ^b	0.025
June 6	15	A	10.78±1.25 ^a	0.039
		B	11.20±1.18 ^a	0.043
		C	9.47±0.89 ^b	0.037
June 11	20	A	14.90±0.88 ^b	0.047±0.01 ^{ab}
		B	15.90±1.11 ^a	0.050±0.01 ^a
		C	14.25±1.32 ^b	0.043±0.01 ^b
June 16	25	A	17.94±1.69 ^b	0.060±0.01 ^b
		B	19.62±1.15 ^a	0.082±0.01 ^a
		C	16.98±0.77 ^c	0.049±0.01 ^c
June 21	30	A	25.21±3.76 ^{ab}	0.230±0.07 ^{ab}
		B	27.52±2.50 ^a	0.260±0.06 ^a
		C	23.22±3.44 ^b	0.149±0.05 ^c

Different superscripts indicate significance (P<0.05).

% 로 들뜸 및 넙치 수정란을 먹인 B시험구가 생존율이 가장 높았다(Fig. 5).

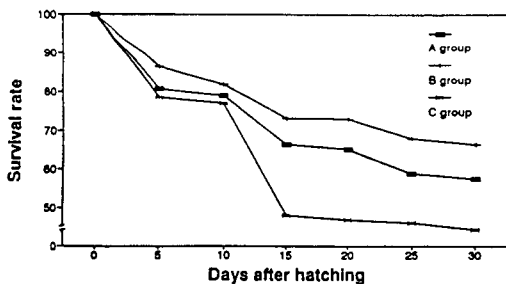


Fig. 5. Survival rates of rockfish larvae reared by using three different food regimes.

조피볼락 자어는 산출후 20일째부터 자어의 성장차이가 나타나 대형 개체가 소형 개체를 공

격하는 공식현상이 일어났으며, 다른 어종과는 달리 조피볼락은 큰 개체가 작은 개체를 공식할 때 삼키지 못한채 포식자와 피포식자가 모두 질식사하는 현상이 많았다.

이러한 공식 방지를 위해 산출후 20일째부터 자어를 선별 수용하였고, 어체크기에 맞게 사료의 크기와 사육밀도를 조절함으로써 공식에 의한 폐사율을 최소화 할 수 있었다.

먹이계열에 따른 시험구별 사육결과는 Table 2와 같으며, 사육일수에 따른 시험구별 일간성장률은 일령 5일째까지 A시험구가 11.30%, B, C시험구 7.82, 6.80%였다. 일령 10일째까지는 C시험구가 4.40%, 25일까지는 B시험구의 성장률이 9.53%로 가장 좋았고, 종료시인 30일째의

Table 2. Results of the rearing experiment with rockfish larvae by using different food regimes (A, B and C) during experimental period from May 22 to June 21 in 1993

Date	Days of rearing	Experimental No.	No. of mortality	Coeff. of fatness	Surv. rate	Weight increase rate	Daily growth rate
22 M a y		A (3,000)		1.53	100.0		
		B (3,000)		1.53	100.0		
		C (3,000)		1.53	100.0		
27 M a y	5	A (2,595)	405	140.3	86.5	84.6	11.30
		B (2,421)	579	94.3	80.7	53.8	7.82
		C (2,355)	645	103.6	78.5	130.8	6.80
June 1	10	A (2,457)	138	140.0	81.9	4.2	0.80
		B (2,400)	21	94.3	80.0	20.0	2.74
		C (2,210)	45	103.6	77.0	25.0	4.40
June 6	15	A (1,992)	465	79.9	66.4	56.0	8.38
		B (2,196)	204	78.4	73.2	50.0	11.02
		C (1,443)	867	113	48.1	48.0	7.07
11 J u n e	20	A (1,953)	39	31.1	65.1	10.3	3.72
		B (2,190)	6	43.20	73.0	36.1	2.99
		C (1,407)	36	43.6	46.9	27.0	2.96
16 J u n e	25	A (1,767)	186	10.7	58.9	16.3	4.70
		B (2,037)	153	11.3	67.9	6.1	9.53
		C (1,383)	85	11.5	46.1	4.2	2.97
21 J u n e	30	A (1,728)	39	14.1	57.6	360	23.34
		B (1,992)	45	12.5	66.4	400	20.76
		C (2,355)	51	11.9	44.4	204	20.11

Coeff. ; stands for coefficient, surv. ; for survival.

A, B, C 시험구는 각각 23.4, 20.76, 20.11% 였다(Fig. 6).

Artemia 포식량 시험

산출후 5일과 30일째까지의 조피볼락 자어에 대한 LD cycle 14 조건과 4단계의 먹이밀도별로 구분하여 조사한 *Artemia nauplius* 평균 포식량은 Fig. 7과 같다. 산출후 5일째 자어(5.65

mm)의 14시간동안 포식량은 평균 9개체에 달하였고, 산출후 10일째 자어(6.81 mm)의 포식량은 212개체, 15일째(9.45 mm) 242개체, 20일째(14.96 mm) 750개체, 25일째(16.75 mm) 1,060개체, 30일째(24.52 mm) 1,171개체로 산출후 15일에서 20일째 사이에 급격하게 증가하였다.

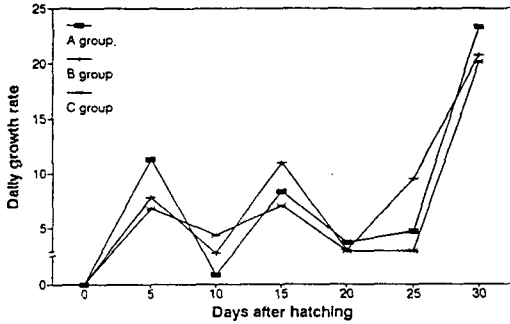


Fig. 6. Change in the growth rate of rockfish larvae reared by using three different food regimes.

치어의 밀도별 사육

사육환경

폐쇄순환여과식 사육조에서의 조피볼락 치어의 성장과 생존에 직간접적으로 영향을 미치는 환경요인인 수온, pH, 비중, 용존산소(DO), 암모니아태질소(NH₄⁺-N), 아질산태질소(NO₂⁻-N), 질산태질소(NO₃⁻-N), 인산인(PO₄³⁻-P)등을 조사한 결과는 다음과 같다.

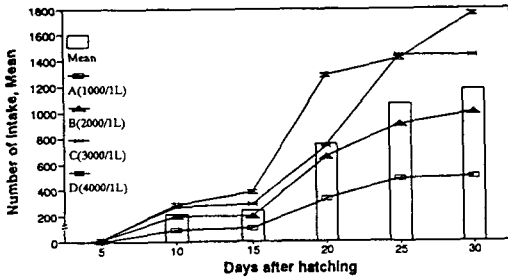


Fig. 7. Changes in the number of *Artemia* nauplius intake by rockfish larvae at four different rearing densities for 30 days after hatching.

시험기간중의 수온의 변화는 Fig. 8과 같이 9월은 18~22℃의 범위로 시험기간중 가장 높은 범위였고, 10월부터 12월 15일까지는 16.9~10.1℃로 점차 낮아졌으며 12월 16일부터는 10℃ 이하로 되었다. 1월 20일에는 시험기간중 최저치인 7℃까지 하강 하였고, 이때 조피볼락 치어의 먹이섭식이 급격히 떨어졌으며, 이후 히터(1.5 kw)를 사용하여 시험종료시인 3월 31일까지 9~

13℃를 유지하였다. 비중(δ_{15})은 1.011~1.021로 변화 폭이 심하였다. pH는 7.21~8.00의 범위였고, 용존산소는 3.1~7.7 ppm 범위였다(Fig. 8).

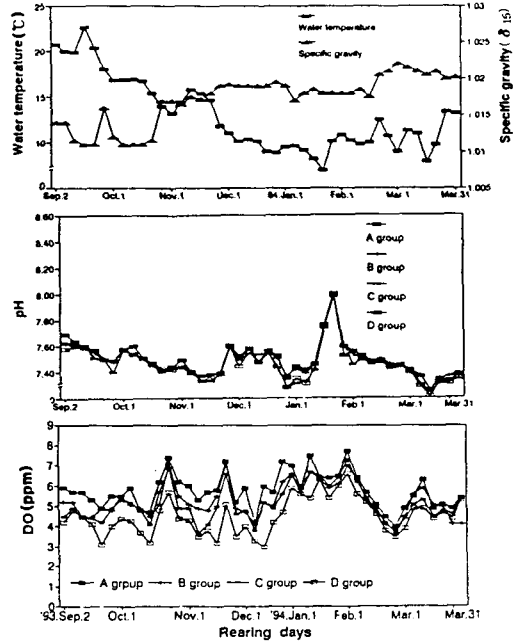


Fig. 8. Fluctuation of water temperature, specific gravity, pH and dissolved oxygen during the period of rearing rockfish juveniles in the closed-recirculating sea water system.

사육수조내의 질산화, 인의 대사과정은 Fig. 9와 같다. 용존무기태질소중의 암모니아태질소(NH₄⁺-N)는 최초사육시, A시험구가 4.007 ppm이었고, B시험구 2.300 ppm, C시험구 1.855 ppm 그리고 D시험구가 2.734 ppm으로 다소 높은 농도이었다. 사육경과일수가 지남에 따라 더 증가하여, 20일째 D시험구에서 가장 높은 5.898 ppm, A시험구가 가장 낮았지만 4.600 ppm으로 시험기간중 전 시험구가 최고치에 달했다. 그후 점차 감소하여 25일째 A (0.302 ppm), B (0.421 ppm), C (0.435 ppm), D (0.469 ppm)으로 낮아졌다가, 30일째 1.023 ppm, 0.704 ppm, 0.519 ppm, 0.853 ppm으로

다시 높아지기 시작하여 45일째 4.452 ppm, 4.897 ppm, 5.120 ppm, 5.100 ppm, 이후 점차 낮아지기 시작하여 70일째 1.935 ppm, 2.037 ppm, 2.546 ppm, 2.429 ppm으로 되었다.

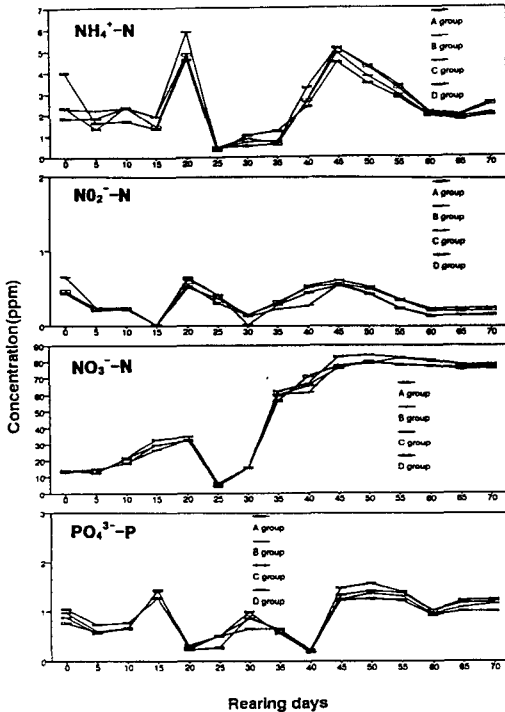


Fig. 9. Fluctuation of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ during the period of rearing rockfish juveniles in the closed-recirculating sea water system.

아질산태질소($\text{NO}_2^-\text{-N}$)는 최초 사육시 0.435 ppm, 0.449 ppm, 0.466 ppm, 0.439 ppm 이었고, 사육일수 경과에 따라 증가하여 20일째 0.645 ppm, 0.617 ppm, 0.508 ppm, 0.549 ppm으로 최고치에 달했으며 그후 차츰 감소경향을 나타내다가 40일째부터 다시 높아졌다. 이후 점차 낮아지기 시작하여 70일째 0.154 ppm, 0.145 ppm, 0.211 ppm, 0.247 ppm으로 되었다.

질산태 질소($\text{NO}_3^-\text{-N}$)의 농도는 최초사육에 있어서 A시험구가 13.879 ppm, B시험구 12.725 ppm, C시험구 13.550 ppm 그리고 D시험구가

13.472 ppm이었고, 사육일수가 경과 함에 따라 증가하여 20일째는 A시험구 32.432 ppm, B시험구 32.839 ppm, C시험구 32.907 ppm, D 시험구 34.948 ppm이었으며, 질산태질소 역시 암모니아와 마찬가지로 고밀도 사육수조에서 타 시험구에 비해 높았다. 20일 이후 차츰 낮아지다가 30일이후 다시 높아지기 시작하여 45일째에는 각 시험구마다 75.877 ppm, 77.395 ppm, 77.184 ppm, 82.917 ppm으로 가장 높았고, 이후 70일째까지는 변화가 없었다.

인산인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)은 최초 사육시 1.064 ppm, 0.977 ppm, 0.767 ppm, 0.883 ppm 이었고 시험개시 15일째 1.279 ppm, 1.442 ppm, 1.448 ppm, 1.418 ppm으로 최고치에 달했으며 그후 차츰 감소하다가 45일째부터 다시 높아졌다. 70일째 1.019 ppm, 1.170 ppm, 1.199 ppm, 1.257 ppm으로 되었다.

사육결과

조피볼락 치어기에 있어서 사육밀도에 따른 성장과 생존율을 비교하기 위해 A (1.8 kg/m³), B (4.0 kg/m³), C (5.0 kg/m³), D (6.2 kg/m³)의 4가지 밀도로 구분하여 폐쇄순환여과식 사육조에서 1993년 9월 2일부터 1994년 3월 31일까지(210일간) 사육 한 결과는 Table 3과 같다.

각 시험구별 사육일수에 따른 전장의 성장은 시험개시 45일째(10월 15일)에는 A시험구가 10.61±1.18 cm로 가장 성장이 빨랐으며 유의성 검정결과 95%수준에서 B시험구 10.42±0.78 cm, C시험구 9.96±0.85 cm와는 차이가 인정되지 않았지만, D시험구 10.25±0.78 cm와는 유의적 이었고, C와 D시험구 사이에서는 성장 차이가 인정되지 않았다. 120일째(1월 1일)에는 A시험구가 12.55±1.32 cm로 가장 성장이 빨랐고, 고밀도 사육한 D시험구가 가장 성장이 느렸다. 각 시험구간의 성장차이를 유의성 검정한 결과 A시험구는 B시험구와 차이가 없었지만, C, D시험구와는 유의성이 있었다(P<0.05).

시험종료시인 사육후 210일째(3월 31일)에는

Table 3. Growth and survival rate of rockfish reared at the four different densities during the experimental period from September 2, 1993 to March 31, 1994

Date	Exp. No.	Mean±SD		No. of survival	Survival rate	Total weight (kg/m ³)
		TL (cm)	BW (g)			
Sep. 2, 1993	A	7.53±0.59	7.71±1.93	98	100.00	0.76
	B	7.53±0.59	7.71±1.93	219	100.00	1.69
	C	7.53±0.59	7.71±1.93	270	100.00	2.08
	D	7.53±0.59	7.71±1.93	340	100.00	2.62
Sep. 20	A	8.63±0.88 ^{ab}	13.00±4.33 ^a	97	99.07	1.26
	B	8.34±0.89 ^{ab}	11.50±1.07 ^{ab}	217	99.09	2.50
	C	8.06±1.09 ^b	10.80±4.33 ^b	266	98.52	2.87
	D	8.06±0.74 ^b	10.20±2.66 ^b	335	98.53	3.42
Oct. 1	A	9.56±0.96	17.50±5.67 ^a	94	95.92	1.65
	B	9.17±0.83	15.17±4.54 ^{ab}	213	97.26	3.23
	C	9.11±0.95	14.67±4.34 ^a	264	97.78	3.87
	D	9.29±0.72	15.57±3.76 ^{ab}	333	97.94	5.18
Oct. 15	A	10.61±1.18 ^a	25.57±9.32 ^a	92	93.88	2.35
	B	10.42±0.78 ^{ab}	22.47±6.23 ^{ab}	207	94.52	4.65
	C	9.96±0.85 ^c	21.10±7.01 ^b	258	95.56	5.44
	D	10.25±0.78 ^{abc}	22.07±5.05 ^a	326	95.88	7.19
Oct. 30	A	11.16±0.89	29.30±5.55 ^a	91	92.86	2.67
	B	10.78±0.99	26.50±8.00 ^{ab}	206	94.06	5.46
	C	10.47±1.27	25.90±9.12 ^{ab}	257	95.19	6.66
	D	10.45±1.00	23.97±6.93 ^b	322	94.70	7.72
Nov. 15	A	11.24±0.72	30.40±6.79	91	92.86	2.77
	B	10.99±0.99	29.07±7.67	205	93.61	5.96
	C	10.91±1.07	29.10±9.47	253	93.70	7.36
	D	10.73±2.32	27.90±8.18	317	93.24	8.84
Dec. 1	A	11.44±0.71	33.23±8.16 ^a	91	92.86	3.02
	B	11.31±1.06	31.80±8.85 ^{ab}	203	92.69	6.46
	C	11.16±1.12	31.16±1.12 ^{ab}	252	93.33	7.85
	D	10.91±0.69	29.30±9.47 ^b	317	93.24	9.29
Jan. 1, 1994	A	12.55±1.32 ^a	39.83±10.38 ^a	91	92.86	3.62
	B	12.12±1.27 ^{ab}	37.53±12.73 ^{ab}	202	92.23	8.58
	C	11.78±1.10 ^b	34.70±10.97 ^{ab}	251	92.96	8.71
	D	11.59±1.25 ^b	31.90±9.99 ^b	311	91.47	9.93
Feb. 1	A	12.58±1.38 ^a	40.63±10.30 ^a	91	92.86	3.70
	B	12.14±0.99 ^{ab}	38.93±6.53 ^{ab}	198	90.41	7.71
	C	12.10±1.02 ^{ab}	36.00±6.95 ^{ac}	249	92.22	8.96
	D	11.84±1.25 ^b	32.23±10.40 ^c	305	89.70	9.83
Mar. 1	A	13.31±1.23	43.10±14.47	91	92.86	3.92
	B	13.06±0.99	41.50±11.0	197	89.95	8.18
	C	12.96±0.58	40.93±7.27	247	91.48	10.11
	D	12.94±0.89	40.73±8.76	303	89.11	12.34
Mar. 31	A	13.75±0.76 ^a	48.37±10.61	91	92.86	4.40
	B	13.56±1.12 ^{ab}	44.70±11.37	195	89.04	8.72
	C	13.22±1.11 ^{ab}	44.03±10.12	247	91.48	10.88
	D	13.10±1.12 ^b	42.63±12.91	300	88.23	12.79

Different superscripts indicate significance (P<0.05).
Density (kg/m³): A; 1.8, B; 4.0, C; 5.0, D; 6.2.

A시험구 13.75±0.76 cm, B시험구 13.56±1.12 cm, C시험구 13.22±1.11 cm, D시험구 13.10±1.12 cm의 순으로 가장 낮은 밀도구인 A시험구가 고밀도인 D시험구보다 성장이 빨랐다. 사육 밀도별 시험구간의 성장차이를 검정한 결과는 가장 저밀도 시험구인 A시험구가 B와 C시험구보다 성장은 다소 빨랐지만, 유의적인 차이는 인정되지 않았고, 가장 높은 고밀도 시험구인 D시험구와는 유의차가 인정되었다. 또한 D시험구는 A시험구를 제외하면 B, C시험구간에 성장차이가 인정되지 않았다.

사육밀도별 사육일수에 따른 전장과 체중의 성장은 Fig. 10과 같다. 시험개시시 7.50±1.93 g에서 사육 45일째(10월 15일)에는 A시험구가 25.57±9.32 g으로 가장 컸으며, B시험구 22.47±6.23 g, C시험구 21.10±7.01 g D시험구 22.07±5.05 g으로 C시험구가 가장 낮았다. 유의성 검정 결과 A시험구는 C시험구와 유의성이 있었지만, B, D시험구와는 차이가 인정되지 않았다(P<0.05).

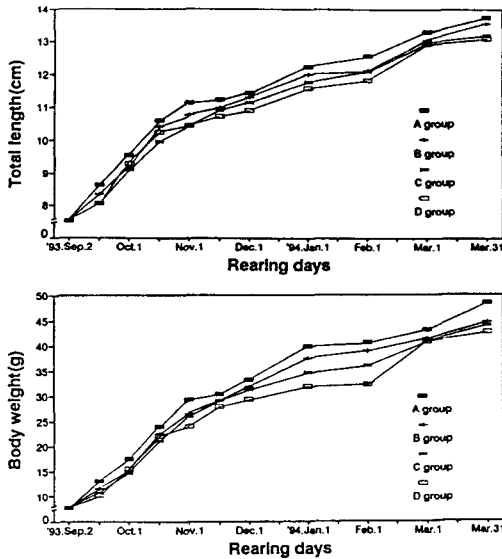


Fig. 10. Growth in total length and body weight of rockfish juveniles reared at the four different densities during the experimental period.

사육실험 90일째(12월 1일)에는 A시험구가 33.23±8.16 g, B시험구 31.80±8.85 g, C시험구 31.16±1.12 g, D시험구 29.30±9.47 g으로 성장해 가장 저밀도로 사육한 A시험구의 성장이 가장 양호하였고, 이 후 이러한 각 시험구간의 성장 경향은 150일째(2월 1일)까지 계속되었다.

실험종료시 210일째(3월 31일)에는 가장 저밀도로 사육한 A시험구가 48.37±10.61 g으로 가장 빠르게 성장하였으며, 고밀도로 사육한 D시험구가 42.63±12.91 g으로 가장 느렸고, B시험구와 C시험구는 44.70±11.37 g, 44.03±10.12 g이었다.

각 사육밀도별 시험구간에 체중의 성장차이를 95%수준에서 유의성 검정한 결과 모든 시험구에 있어서 차이가 인정되지 않았다. 이 연구의 종료시 각 시험구별 최종 사육 밀도는 각각 10.48 kg/m³, 20.75 kg/m³, 25.89 kg/m³, 30.45 kg/m³이었다. 사육일수에 따른 각 시험구의 밀도별 성장에 따른 사육 결과는 Table 4와 같다. 사육기간별 각 시험구의 일간섭식율은 시험개시 30일째(10월 1일)까지는 2.69~2.90% 범위로 전 시험구에 걸쳐 높았고, 이중에서도 A시험구가 2.90%로 가장 높았다. 시험개시 45일(10월 15일)부터 수온의 하강과 함께 섭식율도 낮아져 150일(1월 1일)까지 지속되었다. 그리고 1월 20일부터 히타를 사용하여 수온이 10℃ 이상 유지되면서 섭식율은 2월부터 다시 상승하였으며, 전 시험기간을 통해 저밀도 사육구인 A시험구가 타 시험구에 비해 섭식율이 높았다.

전 시험기간을 통해 사육밀도에 따른 일간성장률은 유사하였고 저밀도 시험구인 A시험구의 성장률이 높았다(Fig. 11). 생존율은 시험개시후 2개월까지는 개체수가 많은 시험구 B, C, D의 생존율이 높았으나, 그 이후 성장이 계속되면서 1월부터는 개체수가 적은 저밀도시험구의 생존율이 높았다. 전 시험기간을 통한 사육밀도별 생존율은 저밀도로 사육한 A시험구가 다른 시험구에 비해 92.8%로 높았고, B시험구 89.04%, C시험구 91.48%, D시험구 88.23% 였다(Fig. 12).

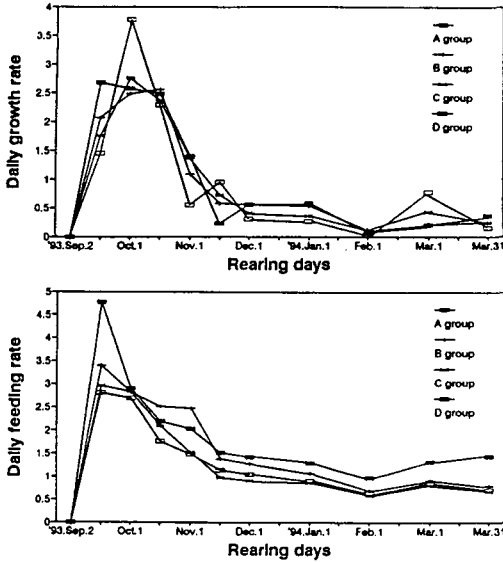


Fig. 11. Changes in growth rate and feeding rate of rockfish juveniles at the four different densities during the experimental period of September 2, 1993 to March 31, 1994.

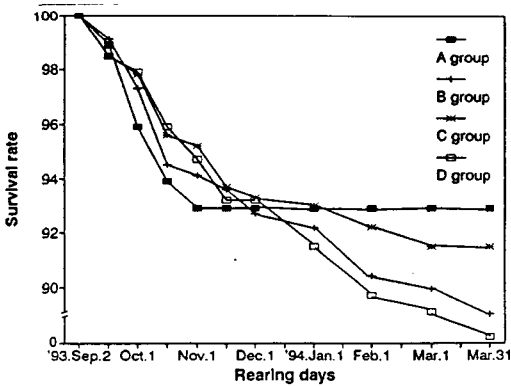


Fig. 12. Survival rates of rockfish juveniles reared at the four different densities during the experimental period.

고 찰

해산어류의 대량 종묘생산을 위한 적당한 먹이계열의 개발은 다양한 해양동물의 번식을 촉진하는 중요한 과제 중 하나로 대두되고 있으며, 양식업자들은 자어가 최초로 섭이하는 적당한

먹이형태, 먹이량, 먹이의 질을 판단하는 일이 어려운 문제로 제기되고 있다. 더우기 초기자어에게 처음 먹이를 공급하는 시기는 자어의 먹이에 대한 회피와 부득이하게 굶주림이 가속화되는 불리한 요인들이 작용할 때이다(Eda et al, 1990).

성장에 영향을 미치는 외적요인의 하나인 먹이계열은 비교적 많이 사용되고 있는 참돔의 먹이계열(伏見, 1975)과 유사하게 실행했다. 清水 · 八幡(1991)는 50 m³ 수조에서 조피볼락 종묘생산 과정에 일령 13~27일까지 넙치난을 공급하여 69.5%가 생존하였다고 보고하였다.朴 등(1993)도 참돔 수정란을 조피볼락에 공급하여 60일간 사육한 결과 성장과 생존율이 좋았다고 보고하였다. 이 연구에서도 3개의 시험구로 나누어서 30일간 성장실험을 한 결과 시험개시시 평균전장이 4.49±0.188 mm, 체중 0.013 g이었던 것이 돌돔과 넙치 수정란을 공급한 B시험구(27.52±2.50 mm, 0.260±0.06 g)가 A시험구(25.21±3.76 mm, 0.230±0.07 g), C시험구(23.52±3.44 mm, 0.149±0.05 g)에 비해서 비교적 좋은 결과를 얻었다. 모든 시험구에서 일령 15일 사이에 대량감모현상이 일어났으며 최종 생존율은 B시험구가 66.4%, A, C시험구 57.6%, 44.4%의 순으로 B시험구가 가장 높게 나타나 초기 사육시 어류의 수정란 공급이 성장과 생존율 향상에 효과가 있다는 것은 잘 일치되었다. 이 연구에서 전 시험구의 생존율이 급격히 떨어진 일령 15일 사이의 감모는 소형수조에서 0.5 ton 수조로 옮기면서 생긴 스트레스에 의한 감모로서, *Artemia* 포식력 조사를 추진하는 과정에서도 조금만 잘못 취급하면 수시간내에 폐사하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 현상은 일령 15일 이내에 특히 심하였으며 이 기간중에 자어의 이동이나 취급시의 스트레스는 조피볼락 자어의 성장 및 생존에 크게 영향을 주고 있음이 관찰되었다.

생존률이 가장 저조한 C시험구는 앞에서의 원인 이외에도 자어가 성장함에 따라 입의 크기에 알맞은 먹이를 공급해 주어야 하지만 *Artemia*의

Table 4. Results of the rearing experiment with rockfish larvae at the four different densities during experimental period

Date	Exp. No.	Daily growth rate	Coefficient of fatness	Feed coefficient rate	Daily feeding rate	Food amount (g)
Sep. 2, 1993	A	—	18.06	—	—	918
	B	—	18.06	—	—	1,365
	C	—	18.06	—	—	1,404
	D	—	18.06	—	—	1,617
Sep. 20	A	2.68	20.23	1.78	4.77	469
	B	2.07	19.83	1.64	3.40	898
	C	1.85	20.61	1.70	2.96	1,053
	D	1.45	19.47	1.92	2.80	1,275
Oct. 1	A	2.57	20.20	1.13	2.90	664
	B	2.48	19.82	1.14	2.82	1,504
	C	2.75	20.63	1.03	2.83	1,478
	D	3.78	19.48	0.71	2.69	1,656
Oct. 15	A	2.48	21.41	0.88	2.19	779
	B	2.56	19.86	0.98	2.51	1,288
	C	2.37	21.36	0.88	2.09	1,077
	D	2.28	18.75	0.77	1.76	1,416
Oct. 30	A	1.40	21.08	1.44	2.02	737
	B	1.09	21.15	2.26	2.47	1,878
	C	1.36	22.57	1.13	1.53	1,395
	D	0.55	21.00	2.72	1.49	1,674
Nov. 15	A	0.23	21.41	6.58	1.52	659
	B	0.58	21.90	2.40	1.38	1,267
	C	0.72	22.41	1.34	0.97	1,094
	D	0.9	22.58	1.21	1.14	1,524
Dec. 1	A	0.56	22.19	2.56	1.42	1,330
	B	0.56	21.98	2.28	1.27	2,300
	C	0.41	22.35	2.23	0.90	2,221
	D	0.31	22.56	3.43	1.05	2,706
Jan. 1, 1994	A	0.58	20.15	2.21	1.29	1,330
	B	0.53	21.08	2.01	1.07	2,330
	C	0.36	21.23	2.43	0.86	1,221
	D	0.27	20.49	3.31	0.90	2,706
Feb. 1	A	0.06	20.41	15.63	0.97	1,138
	B	0.12	21.76	5.89	0.69	1,695
	C	0.11	20.32	5.09	0.58	1,655
	D	0.03	19.42	19.82	0.63	2,015
Mar. 1	A	0.20	18.29	6.64	1.31	1,492
	B	0.21	18.63	4.29	0.91	2,178
	C	0.43	18.80	1.90	0.81	2,320
	D	0.77	18.80	1.07	0.83	2,755
Mar. 31	A	0.37	18.61	3.88	1.44	1,862
	B	0.24	17.93	3.35	0.79	2,103
	C	0.24	19.06	2.84	0.66	2,172
	D	0.15	18.96	4.79	0.70	2,749

Density (kg/m³) : A : 1.8, B : 4.0, C : 5.0, D : 6.2.

공급시기가 일령 6일째부터로서 다소 늦었던 것과 *Artemia* 공급기간을 일령 30일까지 지속시킴으로써 생물먹이를 선호하는 자어의 섭식생태에서 배합사료로의 먹이전환이 늦어진 것 등이 가중된 것에 기인되었다고 생각된다.

朴 등(1993)은 *Artemia*와 배합사료에 의존한 시험구에서는 일령 5일 이내에 전체의 40% 이상의 높은 폐사율을 보인 것이 출산직후 자어(5.82 mm)의 구경에 비하여 비교적 큰 *Artemia*를 처음부터 공급하였기 때문이라고 유추하고, 초기 먹이의 크기가 중요하다고 하였다. 이 연구에서는 일령 3일째부터 *Artemia* 공급을 시작하고 배합사료를 13일째부터 공급한 A시험구는 전장과 체중의 성장 및 생존율에서 B시험구와 유의차가 없었다. 따라서 좀 더 다양하게 각종 먹이의 공급시기와 방법을 달리한 시험은 하지 못하였지만, 자동급이기를 이용한 배합사료의 공급이 비교적 좋은 성과를 보여 금후, 이를 이용한 미립자 사료의 초기 공급으로 rotifer에서 배합사료로 먹이불임을 시도해 보는 것도 효과적인 것으로 생각된다.

어류의 중요생산 과정에서 자치어의 공식현상은 중요한 감모요인의 하나로서, 그 정도는 어종에 따라 다르며 삼치, 메기, 방어, 농어 등과 같이 육식성인 것에서는 심하고, 송사리, 독가시치 등과 같이 잡식성이나 초식성인 것에서는 불수 없다. 공식의 형태에 있어서도 방어나 메기와 같이 큰 개체가 작은 개체를 공식하는 것부터 참돔이나 가자미와 같이 눈이나 지느러미등 몸의 일부를 취하거나 물어뜯어 죽게 하는 경우가 있다. 방어에서는 비슷한 크기에서도 공식이 일어나며 공격을 당한 개체가 클 때 한번에 삼키지 못하고 포식어와 피포식어가 질식하여 2마리가 모두 폐사한다(隆島·羽生, 1989).

방어의 치어는 체장 14~18 mm 크기에서 공식은 일어나지 않았지만, 10~18.5 mm로 차이가 큰 경우에는 5~6%/1일의 비율로 공식에 의한 감모가 일어난다(高知水試, 1974). 이 연구에서는 일령 20일경부터 공식현상이 일어나기

시작하였으며 방어에서와 같이 포식자와 피포식자 모두 폐사하는 것이 관찰되었고 대형어는 수조의 저,중층에 있는 데 반해 소형어는 수조의 벽면이나 표층에 분리되어 정상적인 섭식활동을 못한 채 체색이 검어지면서 도태되는 것을 관찰 할 수 있었다.

따라서, 조피볼락의 공식방지를 위해서는 자치어의 고른 성장을 위한 먹이공급과 선별에 의한 대소차이를 줄여 주는 것이 중요하다고 생각된다.

해산어류의 치어기에 *Artemia*를 이용한 포식량조사에서 감성돔의 전장 7~10 mm 자어는 수온 16.0~18.0°C, 조도가 2000~5000 Lux 조건에서 100~120개체를 포식했고(李와 盧, 1987), 넙치의 전장 10 mm 자어는 120~140개체를 포식했다(盧와 卞, 1986). 이 연구에서 비슷한 크기인 전장 9.45 mm의 조피볼락자어는 수온 17~19°C, 조도 3,000 Lux에서 242개체의 *Artemia*를 포식하여 李와 盧(1987), 盧와 卞(1986)의 결과보다 2배 정도 많이 포식하였다. 이러한 차이는 어종에 따른 포식량의 차이와 자어크기, 먹이밀도 등의 사육조건 및 환경조건 등의 차이에 기인한 것으로 생각되며 특히, 조피볼락은 난태생 어류로서 다른 어종보다 구경이 크고 산출자어의 크기가 대형이기 때문에 포식량이 많다고 생각된다. 조피볼락의 포식량에 대한 연구는 아직까지 미흡한 실정이며, 먹이 및 환경 등에 따른 포식량도 체계화되지 못하고 있다. 중요생산을 효율적으로 하기 위해서는 환경과 더불어 각 발육단계마다 포식력을 파악하는 것이 중요하며, 특히 먹이공급 결정은 어류의 성장과 생산량에 관계하는 중요한 요인(元 등, 1988)이 되므로 금후, 조피볼락의 먹이제열에 있어 각 환경(수온, 조도, 염분, 밀도 등)에 따른 포식량에 대한 연구가 계속되어야 할 과제라고 생각된다.

폐쇄순환여과 시스템에 의한 어류양식은 유수식 또는 가두리를 이용한 어류양식과 비교했을 때 수질환경을 인위적으로 제어할 수 있다는 잇점을 가지고 있으며 유수식 시스템과 비교했을 때 아주 소량의 물을 사용하며 자연환경에 대한 유기물

질의 배출량이 적다(Honda et al., 1993).

지금까지 폐쇄순환여과에 의한 사육시험은 대부분이 담수어를 대상으로 연구되었고 해산 어류양식에 대한 보고는 미흡한 실정이다. Kawai et al. (1965)은 순환여과 수조내의 수질 환경요인중 해수의 이상적인 pH는 7.30~8.00으로 보고 하였다. 이 연구에서 사육수의 pH는 7.21~8.00 으로서 적절한 범위였으며, 사육수의 비중은 사육연구실이 바다와 멀리 떨어진 관계로 해수 공급이 원활하지 못하여 1.0110~1.0215 범위의 다소 저비중으로 성장과 생존에는 지장이 없었다고 생각되지만 앞으로 염분농도에 따른 구체적인 사육실험이 필요하다고 생각된다. 사육기간 동안 수온은 최저 7°C에서 최고 22°C의 범위로 변화폭이 심하였으며 10°C이하로 하강할 때 섭식율이 급격히 떨어졌고, 7°C에서는 전혀 섭이가 이루어지지 않았으나 생존에는 영향이 없었다.

환경수중의 용존산소 농도와 어류 치어의 성장관계에서 거의 5 ppm을 한계로 하여 그 이상의 농도에서는 거의 최대성장이 이루어지고, 5 ppm이하에서는 용존농도에 직접 의존해 1 ppm으로 감소하면 약 30% 성장률이 감소된다(隆島·羽生, 1989). 이 연구에서의 사육기간동안 용존산소는 3.1~7.7 ppm의 범위로 5 ppm이하의 기간이 다소 있었으나 섭식이나 성장에는 지장이 없었던 것으로 생각된다.

어류에 따라서 배설물이나 사료의 분해에 의해 생기는 유리 암모니아(NH³)나 아질산이온(NO₂⁻)은 특히 유해하다. 이것은 혈액 헤모글로빈의 산소 해리도를 저하시켜 헤모글로빈병을 일으키기 때문이며, 수중의 산소가 충분히 함유되어 있어도 이러한 질소화합물의 양이 많게 되면 혈액산소량이 증가하지 않기 때문에, 섭이량이 감소해서 성장이 정지되고 질식사하는 일이 많다(Liao and Mays, 1972; Robinson-Willson and Seim, 1975; Robinette, 1976).

또한, 수질에 있어서 다양하게 함유되어 있는 이러한 요인이 얼마나 많이 상승, 혹은 억제 효과를 일으키는가에 따라서 자치어의 성장, 생존에

영향이 나타나는 경우가 많다(隆島·羽生, 1989).

이 연구에서는 사육기간 동안 NH₄⁺-N는 0.302~5.898 ppm이었고, NO₂⁻-N은 0.014~0.645 ppm, NO₃⁻-N에 있어서는 4.099~83.917 ppm, PO₄³⁻-P은 0.186~1.487 ppm으로 순환여과 시스템의 가동 초기에 암모니아태질소와 질산태질소가 상당히 높아진 때가 있었지만, 여과조의 기능이 정상적으로 가동되면서 수질안정이 이루어져 사육어류의 성장과 생존에는 영향이 없었다.

밀도별 사육의 결과에 관한 보고로서 일본의 Honda et al. (1993)은 탈질소를 갖춘 해수순환여과 시스템을 사용하여 해수를 버리지 않고 고밀도 조건하에서의 집약적 넙치양식이 가능하다고 하였다. 손 등(1994)은 조피볼락의 성장에 미치는 사육밀도의 영향에 관한 연구에서 평균체중 3.55 g 크기의 치어를 5 kg/m³, 10 kg/m³, 15 kg/m³의 밀도로 나누고 수온 15~25°C의 자연해수를 이용하여 230 l의 사각수조에서 유수식으로 112일간 사육한 결과 최종평균체중은 저밀도의 성장이 가장 양호하였고 최종 사육밀도는 저밀도, 중밀도, 고밀도구에서 각각 77.1, 137.3, 169.6 kg/m³로 증가 하였음을 보고 하였다. 이 연구에서는 수온 7~22°C의 범위에서 평균체중 7.71 g 크기의 치어를 A (1.8 kg/m³), B (4.0 kg/m³), C (5.0 kg/m³), D (6.2 kg/m³)의 4가지 밀도로 나누어 210일간 폐쇄순환여과식으로 사육한 결과 전장과 체중은 A, B, C, D시험구에서 각각 13.75±0.76 cm, 13.56±1.12 cm, 13.22±1.11 cm, 13.10±1.12 cm 및 48.37±10.61 g, 44.70±11.37 g, 44.03±10.12 g, 42.63±12.91 g으로 저밀도 시험구인 A시험구가 고밀도 시험구인 D시험구보다 양호한 성장을 보여 손 등(1994)의 보고와 일치하였다. 최종사육밀도는 각각 10,48 kg/m³, 20,75 kg/m³, 25,89 kg/m³, 30,45 kg/m³으로 증가하였으며, 일간성장률은 전 시험기간을 통해 사육밀도별 성장치는 크지 않았고 일간섭이율도 비슷한 경향을 보였지만, 이것 역시 저밀도

시험구인 A시험구가 고밀도 시험구인 D시험구에 비해 다소 높은 경향을 보여 손 등(1994)의 보고와 유사하였다.

자치어 사육밀도에 따른 생존율에 대하여 岩本·芦立(1982)은 80 ton대형 수조에서 5,500 미/ton의 자어를 수용하였을 때 39%의 생존율을 보였고, 7,200 미/ton에서는 31.3%의 생존율을 보여 저밀도 사육하였을 때 생존율이 높게 나타났다고 하였다. 손 등(1994)은 시험기간중 생존율이 99.4~99.6%로 높은 생존율을 보였으며 밀도에 따른 차이가 없었다는 상반된 보고를 하였다.

이 연구에서 생존율은 시험개시후 2개월까지는 개체수가 많은 D시험구의 생존율이 높았으나, 그 이후부터는 성장이 계속되면서 개체수가 적은 저밀도 시험구의 생존율이 높아지기 시작했으며, 시험종료시인 210일째의 생존율은 저밀도 시험구인 A시험구가 92.8%로 가장 높았고 고밀도 시험구인 D시험구가 88.23%로 손 등(1994)의 연구에서 보다 낮은 생존율을 보였는데 이것은 사육기간의 차이에 기인되었다고 생각된다.

조피볼락 치어의 밀도별 사육에 따른 성장이나 생존율은 저밀도 시험구가 고밀도 시험구에 비해 근소한 차이로 좋았으나, 총어체중에서는 최초사육시 A시험구가 0.76 kg (1.8 kg/m³), B, C, D시험구 1.69 kg (4.0 kg/m³), 2.08 kg (5.0 kg/m³), 2.62 kg (6.2 kg/m³)이었던 것이 종료시에는 4.40 kg (10.48 kg/m³), 8.72 kg (20.75 kg/m³), 10.88 kg (25.89 kg/m³), 12.79 kg (30.45 kg/m³)으로 고밀도구에서 증가량이 많아 저밀도 사육보다 고밀도 사육이 경제적인 측면에서 더 효과적이라 생각된다.

이상의 결과들로 보아 조피볼락의 대량종묘생산의 체계화를 위해서는 친어의 안정적 관리 및 산출자어의 활력을 높이기 위한 친어의 확보에 대한 연구와 자어의 적정수용밀도 검토, 초기 대량폐사 방지책 및 초기먹이계열의 간소화, 즉 *Artemia*투여 기간을 단축하거나 배합사료만으로 성장과 생존율을 높일 수 있는 방안의 연구와

건강한 자치어의 활력증가를 위하여 어류의 수정란 및 부화자어를 공급하는 것이 조피볼락의 종묘생산에 효과적이라는 결과 등에 있어 좀더 세밀한 연구가 뒷받침되어야 할 것으로 사료된다.

치어의 적정밀도를 구명함에 있어 고밀도 시험구 보다는 저밀도 시험구의 성장이나 생존에 있어 효과적이라는 결과가 나타나기는 했으나, 큰 차이가 없었던 것으로 보아, 경제적인면을 고려한 적정 사육밀도에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 생각된다.

요 약

조피볼락, *Sebastes schlegeli*의 초기성장에 적합한 먹이계열과 사육밀도에 따른 성장을 파악하기 위한 초기의 지수식에 있어서의 먹이계열 시험과 폐쇄순환여과식 사육장치에서 4단계의 밀도(A시험구 : 1.8 kg/m³, B : 4.0 kg/m³, C : 5.0 kg/m³, D : 6.2 kg/m³)로 조정된 사육시험 결과는 다음과 같다.

1) 3가지 먹이계열 A (rotifer+3~18 *Artemia*+13 diet), B (rotifer+6~18 *Artemia*+egg+18 diet), C (rotifer+6~30 *Artemia*+18 diet)로 사육한 자치어의 성장(전장, 체중)은 B (27.52±2.50 mm, 0.26±0.06 g), A (25.21±3.76 mm, 0.23±0.07 g), C (23.22±3.44 mm, 0.15±0.05 g)시험구의 순위였고, 생존율은 B (66.4%), A (57.6%), C (44.4%) 시험구의 순위였다. 각 시험구별 자치어의 사육일수에 따른 전장과의 성장관계식은,

$$A \text{ 시험구 } Y=4.350+0.116X+1.887X^2 \\ (r=0.993)$$

$$B \text{ 시험구 } Y=4.500+8.931X+2.221X^2 \\ (r=0.994)$$

$$C \text{ 시험구 } Y=4.478+5.734X+1.881X^2 \\ (r=0.990) \text{ 이었다.}$$

2) 자어의 크기에 따른 개체당 *Artemia nauplius*의 평균 포식량은 전장 5.65 mm일때 9개체, 6.81 mm, 212개체, 9.45 mm, 242개체, 14.96

mm, 750개체, 24.52 mm일때 1,171개체로 전장 9.45~24.52 mm (일령 15~20일) 사이에 급격한 포식량의 증가를 보였다.

3) 폐쇄순환여과 시스템에서 4단계의 밀도별 시험구의 치어성장(평균전장과 체중)은 A (13.75 ± 0.76 cm, 48.37 ± 10.61 g), B (13.56 ± 1.12 cm, 44.70 ± 11.37 g), C (13.22 ± 1.11 cm, 44.03 ± 10.12 g), D (13.10 ± 1.12 cm, 42.63 ± 12.91 g) 시험구의 순으로 저밀도구에서 양호하였고, 최종 생존율은 A 92.9%, C 91.5% B 89.0%, D 88.2% 순위였다.

최종 사육밀도별 단위면적당 총생산량(kg/m³)은, D (30.45 kg/m³), C (25.89 kg/m³), B (20.75 kg/m³), A (10.48 kg/m³)의 순위로서 개체의 성장과 생존율의 차이는 근소한데 비하여 총생산량에서 큰 차이를 나타내어 동 시험조건에서 경제적인 면을 고려한다면 고밀도구의 결과가 양호하였다.

참 고 문 헌

- Boehlert, G. W. and M. M. Yoklavich, 1984. Reproduction, embryonic energetics, and the maternal fetal relationship in the viviparous genus *sebastes* (pisces : Scorpaenidae). Biol. Bull., 167 : 354-370.
- Bowers, M. J., 1992. Annual reproductive cycle of oocytes and embryos of yellowtail rockfish, *Sebastes flavidus* (Family Scorpaenidae). Fishery Bull., 90 : 231-242.
- Eda, H., R. Murashige, Y. Oozeki, A. Hagiwara, B. Eastham, P. Bass, C. S. Tamaru and C. S. Lee., 1990 Factors affecting intensive larval rearing of striped mullet, *Mugil cephalus*. Aquaculture. 91 : 281-294.
- Honda, H., Y. Watanabe, K. Kikuchi, N. Iwata, S. Takeda, H. Uemoto, T. Furuta, and M. Kiyono., 1993. High Density Rearing of Japanese Flounder, *Paralichthys olivaceus* with a Closed Seawater Recirculation System Equipped with a Denitrification Unit. Suisanzoshoku 41-1 : 19-26.
- Hoshiai, G., 1977. Larvae and Juveniles of the Scorpaenid Fish, *Sebastes schlegeli*. Japan. J. Ichthyol. 24 : 35-42.
- Kawai, A., Y. Yoshida and M. Kinta., 1965. Biochemical studies on the bacteria in aquarium with circulating system. II : 37-140.
- Laidig, T. E., S. Ralston and J. R. Bence., 1991. Dynamics of growth in the early life history of shortbelly rockfish, *Sebastes jordani*. Fishery Bull. 89 : 611-621.
- Laroche, W. A and S. L. Richardson., 1981. Development of larvae and juveniles of the Rockfishes *Sebastes entomelas* and *S. Zacentrus* (Family Scorpaenidae) and occurrence off Oregon, with notes on head spines of *S. Mystinus*, *S. Flavidus*, and *S. Melanops*. Fishery Bull. 79 : 231-240.
- Liao, P. B. & R. D. Mays., 1972. Salmonid hatchery water reuse system. Aquaculture. 1 : 317-335.
- Macfarlane, R, B. E. C. Norton, and M. J. Bowers. 1993. Lipid dynamics in relation to the annual reproductive cycle in Yellow-tail Rockfish (*Sebastes flavidus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50 : 391-401.
- Nie, N. H., C. H. Hull, J. G. Jenkins, K. Steinbrenner and D. H. Bent., 1975. SPSS : Statistical Package for the Social Sciences, 2nd ed. McGraw Hill, New York. 675pp.
- Robinson-Wilson, E. F. and W. K. Seim, 1975. The lethal and sublethal effects of a zirconium process effluent on juvenile salmonids. Wat. Res. Bull., 11 : 975-986.
- Robinette, H. R., 1976. Effect of selected sublethal levels of ammonia on the growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Prog. Fish-Cult, 38 : 26-29.
- Shinomiya, A. and O. Ezaki., 1991. Mating habits of the rockfish *Sebastes inermis*. Env. Biol. Fish, 30 : 15-22.
- Yamada, J. and M. Kusakari., 1991. Staging and the time course of embryonic development in kurosoi, *Sebastes schlegeli*. Env. Biol. Fish, 30 : 103-110.
- 鄭文基, 1977. 韓國魚圖譜. 一志社. 서울 : 498-507.
- 伏見 徹, 1975. 餌料. 稚魚の攝餌と發育. 水産學シリズ, 8. 恒星社厚生閣 : 67-83.
- 岩本明雄・芦立昌一, 1982. クロソイの種苗量産.

- 栽培技研 II : 35-44.
- 金伯均·李鍾華, 1991. 조피볼락(*Sebastes schlegeli*)의 種苗生産에 關한 研究. 순천향대학 논문집, 14 : 847-857.
- 金容億·韓景鎬, 1991. 조피볼락(*Sebastes schlegeli*)의 初期生活史. 韓魚誌., 3 : 67-83.
- 草刈宗晴·森 泰雄, 1977. クロソイの産出生態に關する研究(第1報). 北水試月報., 34 : 1-8.
- 草刈宗晴·森 泰雄·工藤敬司, 1979. クロソイの産出生態に關する研究(第3報). 北水試月報., 36 : 1-8.
- 李定宰·盧暹, 1987. 감성돔, *Mylio macrocephalus*(Basilewsky)의 種苗生産에 關한 研究. 濟州大學校 海洋研究所 研究報告. 12 : 9-17.
- 李尙旻·李鍾允·姜龍珍·尹好東·許聖範, 1993. 조피볼락 *Sebastes schlegeli*의 n-3系 高度 不飽和 脂肪酸 要求量. 韓水誌. 26 : 67-83.
- 李泳鎬·張榮振, 1994. 조피볼락, *Sebastes schlegeli* 어린 時期의 成長 및 體成分 組成에 미치는 미역 添加 飼料의 生理的 效果. 韓水誌. 27 : 69-82.
- 朴勝·盧暹·金相根, 1993. 조피볼락, *Sebastes schlegeli* (HILGENDORF)의 仔魚出産과 初期成長. 水振研究報告. 47 : 45-57.
- 隆島 史夫·羽生功, 1989. 水族繁殖學, 綠書房 : 239-277.
- 盧暹·卞忠圭, 1986. 濟州道産 魚類(능성어과)의 種苗生産에 關한 基礎的 研究 및 넙치種苗 生産化에 關한 研究. 濟州大學校 海洋科學大學 養殖研報. 3 : 20-37.
- 佐佐木 攻, 1981. クロソイの養殖, 種苗生産と養成について. 養殖. 90-95.
- 손맹현·전임기·박승렬·명정인, 1994. 조피볼락, *Sebastes schlegeli*의 성장에 미치는 사육 밀도의 영향에 관한 연구. 한국양식학회, 제13회 학술 발표요지. 7p.
- 清水健·入幡康一, 1991. 水産の研究 50. クロソイ 種苗生産 : 101-107.
- 高知縣水産試驗場, 1974. 昭和49年度指定調査研究 綜合 助成事業, プリ種苗生産 研究報告書. 28p.
- 元文星·張榮振·柳晟奎, 1988. 넙치, *Paralichthys olivaceus* 仔魚 및 稚魚의 攝食과 消化. 韓國養殖學會誌. 1 : 1-11.
- 梁龍林. 1985. 色光에 대한 조피볼락의 反應. 韓水誌. 18 : 119-123.