

碩士學位論文

수온과 사육밀도에 따른 홍민어,
Sciaenops ocellatus (Sciaenidae)의
성장



濟州大學校 大學院

水産生物學科

崔 英 雄

2001年 12月

수온과 사육밀도에 따른 홍민어,
Sciaenops ocellatus (Sciaenidae)의
성장

指導教授 盧 暹

崔 英 雄

이 論文을 理學碩士 學位論文으로 提出함



2001年 12月

崔英雄의 理學碩士 論文을 認准함

審査委員長 이 영 돈 (인)

委 員 최 광 식 (인)

委 員 노 섬 (인)

濟州大學校 大學院

2001年 12月

Growth of Red Drum, *Scianops ocellatus*
(Sciaenidae) with the Water Temperature and
the Rearing Density

Young-ung Choi
(Supervised by professor Sum Rho)



A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for
the degree of Master of Science

Dec. 2001.

This thesis has been examined and approved

Department of Marine Biology
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

Abstract	i
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 수온에 따른 성장	3
1) 실험어	3
2) 사육방법	3
2. 사육밀도에 따른 성장	3
1) 실험어	3
2) 사육방법	4
3. 사료공급	5
4. 성장도 측정	5
5. 사육환경측정	6
6. 통계분석	6
III. 결 과	7
1. 사육환경	7
1) 수온	7
2) 사육밀도	7
2. 성장 및 생존율	10
1) 수온에 따른 성장	10

2) 사육밀도에 따른 성장	18
3. 사료계수, 일간성장률 및 일간섭식율	24
4. 비만도	24
IV. 고 찰	32
V. 요 약	37
VI. 참고문헌	38

감사의 글



Abstract

Two experiments were conducted for 57 weeks to investigate the effects of water temperature and rearing density on growth of Red drum, *Sciaenops ocellatus*. The first experiment of growth in different water temperature was reared the fish for 32 weeks in different water temperature of 20, 23 and 26°C. The second experiment of growth in different rearing density was reared the fish for 25 weeks in different rearing density of 2.16, 4.24 and 6.40 kg/m³.

In the first experiment, total length was significantly higher at 26 than 20 and 23°C. Body weight gained in 26°C was 426.6±82.1 g, which was significantly (P<0.05) higher than in 23 and 20°C.

The growth in body weight of red drum according to rearing time could be summarized as, equations:

$$20^\circ\text{C} : Y = 8.661X^2 + 34.78X + 38.569 \quad (r^2 = 0.9956)$$

$$23^\circ\text{C} : Y = 1.924X^2 + 2.448X + 3.6548 \quad (r^2 = 0.9853)$$

$$26^\circ\text{C} : Y = 1.654X^2 + 4.315X + 6.8912 \quad (r^2 = 0.9901)$$

$$(X = \text{Rearing time (weeks)}, Y = \text{Body weight (g)})$$

Survival rate of red drum at 23°C was 81.8%, which was the highest recorded. At 20 and 26°C, the survival rates were 52.5 and 76.5%, it was trend toward decrease in survival rate of red drum as stress of convey process.

Feeding coefficient of 26°C was lowest than the other groups. Daily growth rate and daily feeding rate were apparently elevated in 26°C. Condition factor was no significantly difference at among the three experimental groups (P<0.05).

In the second experiment, total length of Red drum grown in 2.16 kg/m³ of rearing density was similar to 4.24 kg/m³, but 6.40 kg/m³ was significantly difference (P<0.05). Body weight was gained in 2.16 kg/m³ of water temperature was 744.8±155.7 g, which was significantly higher than 4.24 kg/m³ and 6.40 kg/m³

of rearing density, and this both experimental groups were not found significantly different ($P < 0.05$).

The growth in body weight of red drum according to rearing time could be summarized as, equations:

$$2.14 \text{ kg/m}^3 : Y = -20.079X^2 + 243.98X - 1.02 \quad (r^2 = 0.9981)$$

$$4.24 \text{ kg/m}^3 : Y = -18.504X^2 + 224.17X + 15.6 \quad (r^2 = 0.9969)$$

$$6.40 \text{ kg/m}^3 : Y = -17.845X^2 + 211.55X + 30.2 \quad (r^2 = 0.9956)$$

(X = Rearing time (weeks), Y = Body weight (g))

Survival rates of red drum at 2.14 kg/m^3 , 4.24 kg/m^3 and 6.40 kg/m^3 were 95.8~100%, which was the high recorded.

Feeding coefficient was of 2.16 kg/m^3 was highest than the other groups. Daily feeding rate and daily growth rate were apparently elevated in 2 kg/m^3 . Condition factor was no significantly difference among the experimental groups ($P < 0.05$).

These results indicate that proper temperature and rearing density for growth of red drum were 26°C of water temperature, 2.16 kg/m^3 of rearing density, The proper conditions for the mass production of red drum were 6.40 kg/m^3 of rearing density.

I. 서 론

홍민어 *Sciaenops ocellatus*는 대서양 연안과 멕시코 만의 기수, 해수역 부근에 서식하는 온대성 어종으로 멕시코 만에서는 유어용 낚시와 상업적 양식에서 중요한 어종이다(Matlock, 1986). 치어는 15~35%의 염분범위에도 생존하는 광염성 어류이다(Holt et al., 1981; Holt and Banks, 1988). 야생에서 홍민어의 먹이 습성은 계절적으로 차이가 있지만 20 cm미만의 개체들은 주로 갯지렁이와 같은 다모류를 섭식하고, 20~59 cm되는 개체들은 다모류, 게, 새우 그리고 작은 어류를 섭식한다(Llanso et al., 1998). 성숙한 암컷개체는 산란기동안 1회 이상의 산란을 하고 보통 11~14 kg되는 암컷 개체는 1~3 백 만개의 알을 낳는다(Colura et al., 1991). 산란은 주로 광조건과 수온에 의해 조절되는 것으로 알려져 있고(Arnold, 1988) 멕시코만 연근해역에서 9월부터 11월 사이에 이루어진다(Peters and McMichael, 1987; Comyns et al., 1991). 산란 후 알과 치어는 조석에 의해 강 하구 부근으로 이동을 하여 6~8 mm 이룰 때까지 머물다가 그 후 성장하면서 먹이와 은신처를 제공받을 수 있는 해조 군락지로 이동하여 정착한다(Holt et al., 1983; Rooker and Holt, 1997). 실험실 조건에서 홍민어의 초기산란은 19.5 개월의 2.9 kg개체에서 이루지는 것이 관찰되었지만(Arnold, 1991) 자연에서는 성숙이 늦어서 3~5년 걸린다(Matlock, 1987).

홍민어는 종묘생산이 쉽고 염분에 대한 내성이 강하며 성장이 빠른 어종으로 1970년대 중반부터 대서양 연안에서 상업적 양식이 시작되어 산란과 치어 사육 기술이 발전되어 왔다(Lasswell et al., 1977). 인공종묘생산에 있어서 배란은 친어에 500~600 IU/kg으로 human chorionic gonadotropin (HCG)를 주입하여 25℃의 수온에서 수조에서 24~30시간동안 두어서 유도 할 수 있다. 수정은 그릇에 알을 받아 놓고 정자액을 섞는 건식법을 이용하는데 수정률은 보통 30~70%에 이른다. 부화는 수온 25℃, 염분 30‰에서 가장 적합하고 부화 후 48시간이내에 난황이 흡수된다(Holt et al., 1981). 이후 치어는 면실박, 요소 그리고 인산비료 등으로 식물성 플랑크톤을 배양한 후 동물성 플랑크톤을 준비한 야외수조에서 약 2주 동안 사육 한 후 양성과정으로 진행시킨다(Lee, 1997).

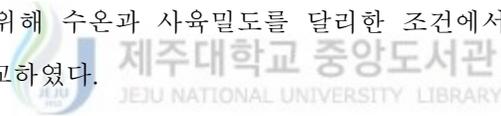
이러한 사육기술의 개발에 힘입어 미국에서는 1980년대 중반부터 산업화가 되어 양

식 생산량의 지속적인 증가를 하였고(Parker, 1993) 현재 이들 종의 양식에 적합한 환경과 영양학적인 연구가 진행되고 있다(Thomas and Arnold, 1993; Gatlin, 1995). 이스라엘의 경우 홍민어에 대한 양식의 시도는 1990년대 초 미국으로부터 알과 자치어를 이식하면서 시작되어 최근에는 지중해와 이스라엘의 홍해 연안에서 생산량이 지속적으로 증가하고 있고(Kissil, 1996) 높은 시장 가격이 형성되어 지중해 연안국으로 파급이 기대되고 있다.

이와 같이 홍민어는 광온성, 광염성으로서 성장이 빠르고 환경적응력이 높아 양식 개발 대상 어종으로써 갖추어야 할 조건을 잘 구비하고 있어 양식 품종의 다양화가 시급한 우리나라 해수어류양식 현황을 감안할 때 개발가치가 높은 어류라고 생각된다.

우리나라에서는 1999년부터 홍민어의 종묘가 이식되어 시험 양식되고 있지만 적정 사육환경에 대한 연구는 미흡한 상태이다.

이 연구에서는 홍민어의 국내양식기술개발을 목적으로 그 기초가 되는 적합한 사육환경을 구명하기 위해 수온과 사육밀도를 달리한 조건에서 홍민어의 성장과 생존율, 사료효율 등을 비교하였다.



II. 재료 및 방법

홍민어의 수온에 따른 성장차이를 조사한 1차 실험과, 사육밀도를 달리하여 성장차이를 조사한 2차 실험으로 나누어 2회 반복으로 실시하였다.

1. 수온에 따른 성장

1) 실험어

실험에 사용된 홍민어 치어는 전남 여수시에 있는 경양종묘배양장에서 시험 생산한 평균 전장이 4.6 ± 0.3 cm, 체중 1.2 ± 0.6 g되는 2,000마리를 시험사육 한 후 1,200마리를 대상으로 11월 13일부터 2000년 6월 26일 까지 총 32주 동안 사육하였다.

2) 사육방법



실험수조는 모서리를 둥글게 만든 FRP 사각수조($1.5 \times 1.5 \times 0.9$ m) 3개를 1조로 하여 사육조 A는 중앙배수구를 통하여 침전조 B와 연결시킨 후 B수조의 중층에 air lift를 설치하여 하루에 6~7회 사육조 A의 물을 순환시켰다. 물의 교환은 3~4일 간격으로 저수조 C에서 미리 사육조의 수온과 동일하게 가온 여과한 물을 사용하였다(Fig 1). 수온은 electronic thermostat (DAC-302H)를 이용하여 $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 그리고 $26 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 조절하였다.

2. 사육밀도에 따른 성장

1) 실험어

실험에 사용된 홍민어는 평균 전장이 26.6 ± 1.7 cm, 체중 213.6 ± 46.7 g 크기를 이용

해서 2000년 8월 13일부터 2001년 1월 31일 까지 25주 동안 사육하였다.

2) 사육방법

사육밀도는 2.16 kg/m^3 , 4.24 kg/m^3 그리고 6.40 kg/m^3 로 각각 20미, 40미, 60미를 수용하였고 사육은 유수식으로 모래 여과한 자연해수를 20~22회전/일이 되도록 하였다.

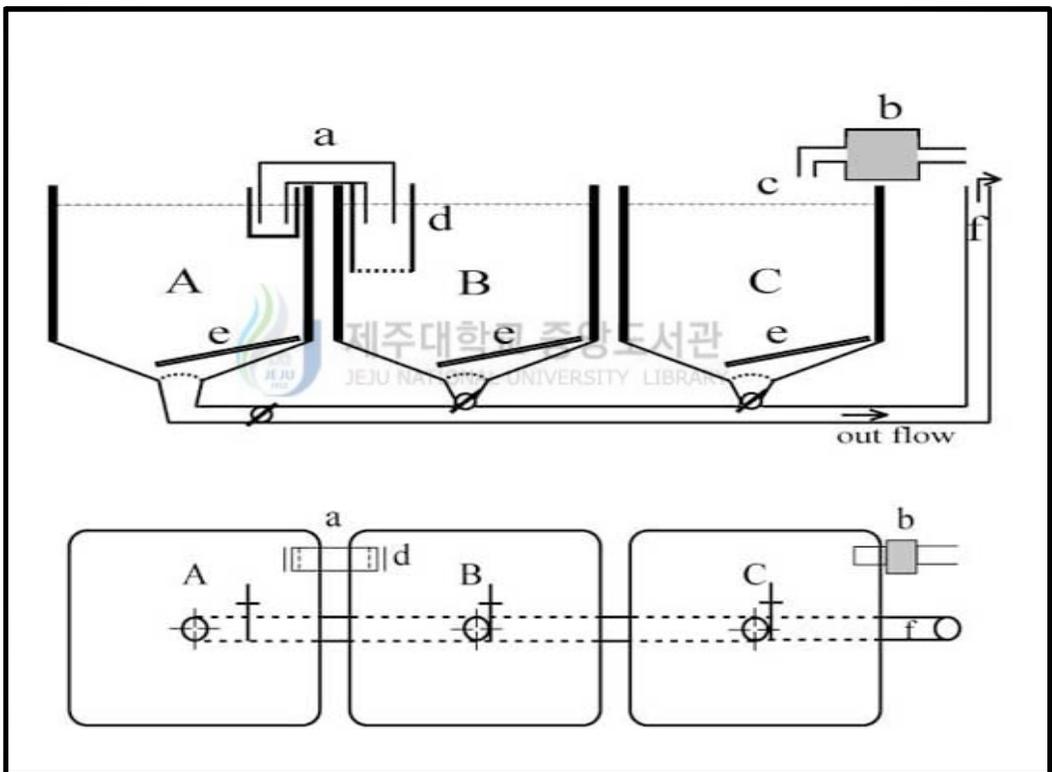


Fig. 1 . Schematic diagram of the rearing tank used for the experiments.

A: rearing tank

B: settling tank

C: storage tank

a: air lift

b: micro clean filter

c: inflow

d: filter screen

e: heater

f: out flow

3. 사료공급

실험에 사용한 배합사료는 고압팽창사료(extruded pellet, 우성사료주식회사)로 사료 성분표는 Table 1과 같고, 어체가 성장함에 따라 사료의 크기를 조정하여 공급하였다. 먹이 공급은 1일 3회 08:00시, 12:00시 그리고 17:00시에 공급하였고, 이 때 먹이는 실험어가 받아먹지 않을 때까지 먹이를 공급하였다.

Table 1. Proximate composition of the extrude pellet used in this study

Components	Extruded pellet (%)
Crude protein	53.0
Crude fat	5.0
Crude fiber	4.0
Ash	17.0
Ca	1.0
P	2.7

4. 성장도 측정

실험어는 4주 간격으로 어체 측정을 실시하였다. 어체 측정 전에 24시간동안 절식 시킨후 MS-222 50 ppm으로 마취하여 전장은 1 mm까지, 체중은 전자저울(Sartorius, BP 8100)로 0.1 g까지 측정하였다. 측정 후에는 실험어를 HCL-Oxytetracycline 50 ppm으로 1시간 약욕하였다.

실험시작과 종료시에 증중량(weight gain), 먹이공급량을 이용하여 Ricker (1969)식으로 일간성장률(daily growth rate)을 구하였고, 아래의 식으로 일간섭식율(daily feeding rate), 사료계수(feed coefficient)와 비만도(condition factor)를 구하여 실험구 간의 차이를 비교하였다.

daily growth rate (DGR) = $\ln(W_1 - W_0) / T \times 100$

daily feeding rate (DFR) = $TF \times \{0.5 \times T \times (W_1 + W_0)\} \times 100$

feed coefficient (FC) = TF / WG

condition factor (CF) = $BW / TL^3 \times 100$

W_0 : initial weight

W_1 : final weight

TF: total feed

T: rearing time

WG: weight gain

BW: body weight

TL: total length

5. 사육환경측정

실험 기간중 수온, 용존산소(dissolved oxygen, DO), pH, 염분을 매일 오전 10시에 측정하였으며, DO는 DO meter (DO-14P), pH는 pH meter (HM-12P), 염분은 광학 염분계(S/Mill-E, ATAGO)를 사용하였다.

6. 통계분석

실험결과의 분석은 ANOVA-test를 실시한 후 Statistical Analysis (SAS Institute North Caroline, USA)를 이용하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 사육환경

1) 수온

실험기간 동안 실험구의 염분, DO, pH의 변화는 Fig. 2, 3과 같다. 염분은 33.5~35.0%의 범위였다. 사육수의 DO는 8.4~6.7 ml/l 였고, pH는 변화는 8.1~7.2 범위였다.

2) 사육밀도

실험기간 동안 실험구의 수온, 염분, DO, pH의 변화는 Fig. 4, 5와 같다. 수온은 27.2~12.3℃로 9월말 이후 점차적으로 하강하였다. 염분은 31.0~35.0%의 범위로 10월 이후 34%이상으로 증가하였다. 사육수의 DO는 6.5~8.2 ml/l 였고, pH는 변화는 7.5~8.3 범위였다.

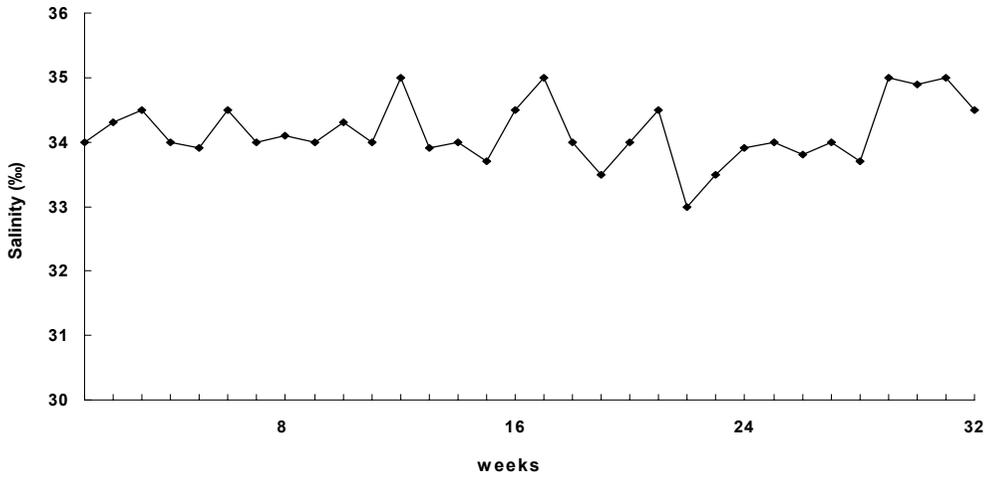


Fig. 2. Weekly changes of salinity of stocking density water in tank during the study.

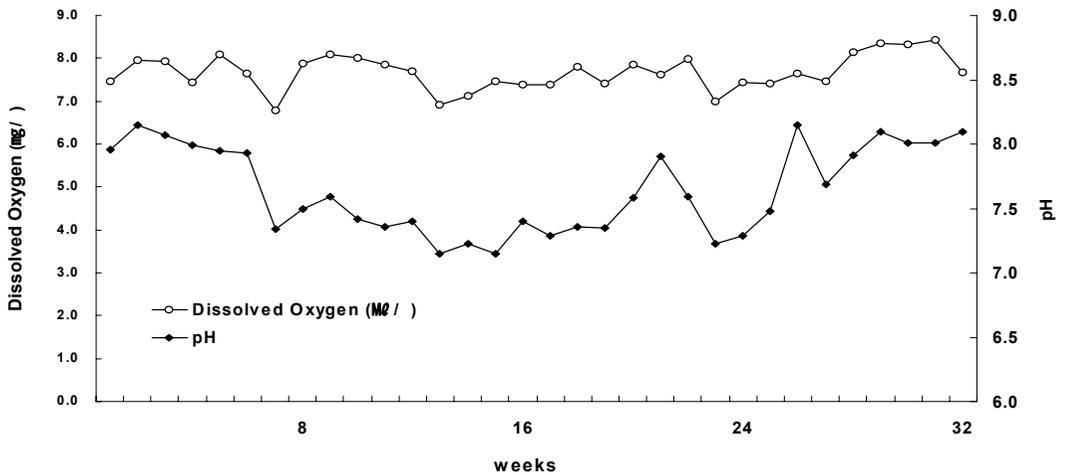


Fig. 3. Weekly changes of dissolved oxygen and pH of stocking density in tank during the study.

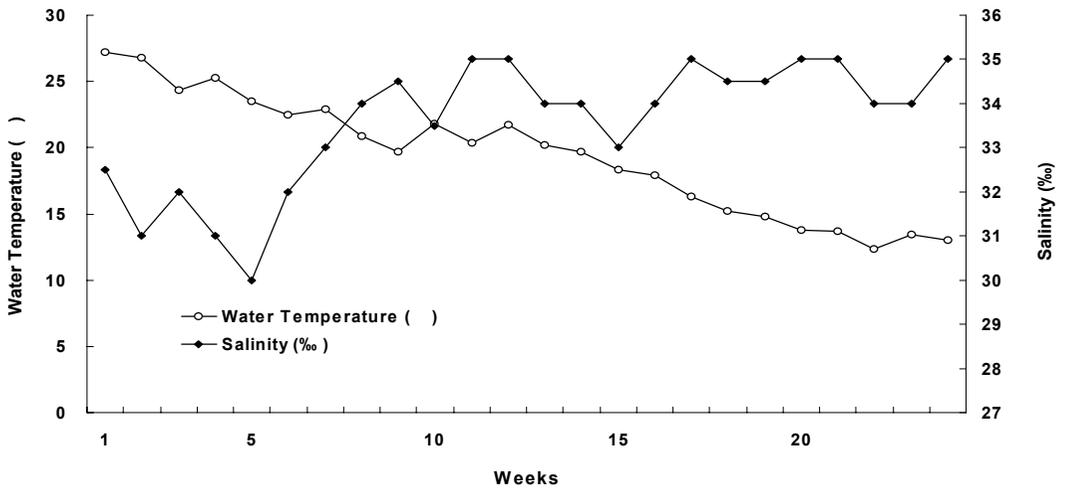


Fig. 4. Weekly changes of salinity and water temperature of stocking water in tank during the study.

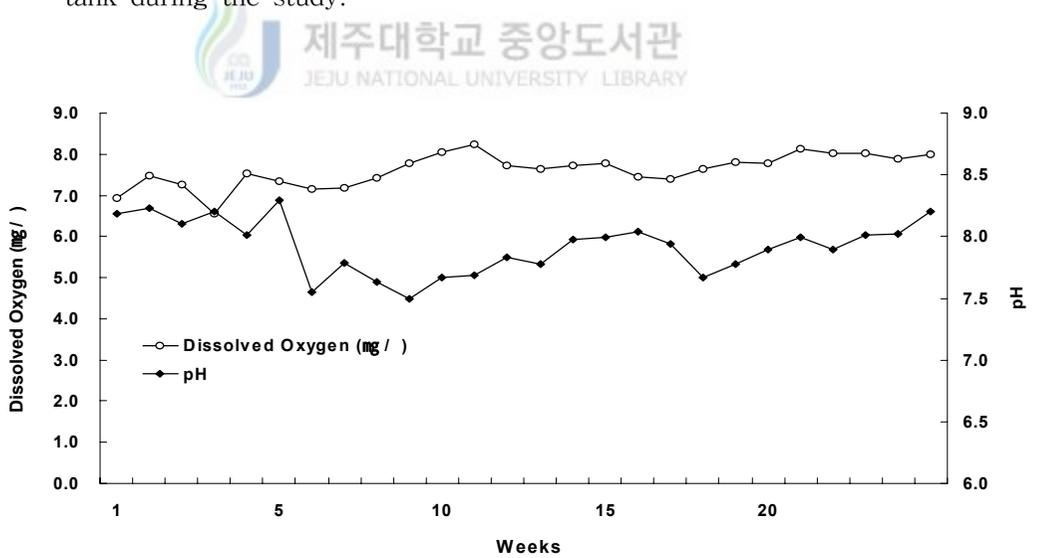


Fig. 5. Weekly changes of dissolved oxygen and pH of stocking water in tank during the study.

2. 성장 및 생존율

1) 수온에 따른 성장

1999년 11월 13일부터 2000년 6월 26일 까지 32주간 홍민어의 성장은 Fig. 6과 같다. 실험 시작시 평균 전장은 4.6 ± 0.3 cm이었으며, 실험 종료시에 20, 23 그리고 26 °C에서 20.6 ± 2.1 , 22.5 ± 2.2 , 33.4 ± 2.8 cm로 성장하여 수온이 낮을수록 성장이 느렸다 (Fig 6, Table 2, $P < 0.05$).

사육기간에 따른 각 실험구의 체중성장관계식은

$$20^{\circ}\text{C} : Y = 8.661X^2 - 34.78X + 38.569 \quad (r^2 = 0.9956)$$

$$23^{\circ}\text{C} : Y = 1.924X^2 - 2.448X + 3.6548 \quad (r^2 = 0.9853)$$

$$26^{\circ}\text{C} : Y = 1.654X^2 - 4.315X + 6.8912 \quad (r^2 = 0.9901) \text{이었다.}$$

실험 시작시 평균 체중은 1.2 ± 0.3 g이었으며, 실험 종료시에는 20, 23 그리고 26 °C에서 각각 104.8 ± 29.9 , 132.9 ± 31.4 , 426.6 ± 82.1 g로 성장하여 실험구간의 성장은 전장과 같은 경향이였다 (Fig 6, Table 2, $P < 0.05$).

총 증중량(total weight gain)은 실험 종료시 20, 23 그리고 26 °C에서 각각 24,618.0, 44,665.6, 35,723.2 g이었다 (Table 2).

생존율(survival rate)은 실험 종료시 20, 23 그리고 26°C에서 각각 52.5, 81.8% 와 76.5%이었다.

실험 종료시 체중분포는 20°C에서 57.2~177.9 g의 범위로 50~100 g되는 개체들이 54%이었고, 23°C에서는 76.5~247.7 g범위로 50~100 g되는 개체들이 64%이었으며, 그리고 26°C에서는 228.7~631.3 g범위로서 300~350 g되는 개체들이 24%로 수온이 높을수록 개체의 체중의 분포는 우측에서 형성되고 있었다 (Fig 7).

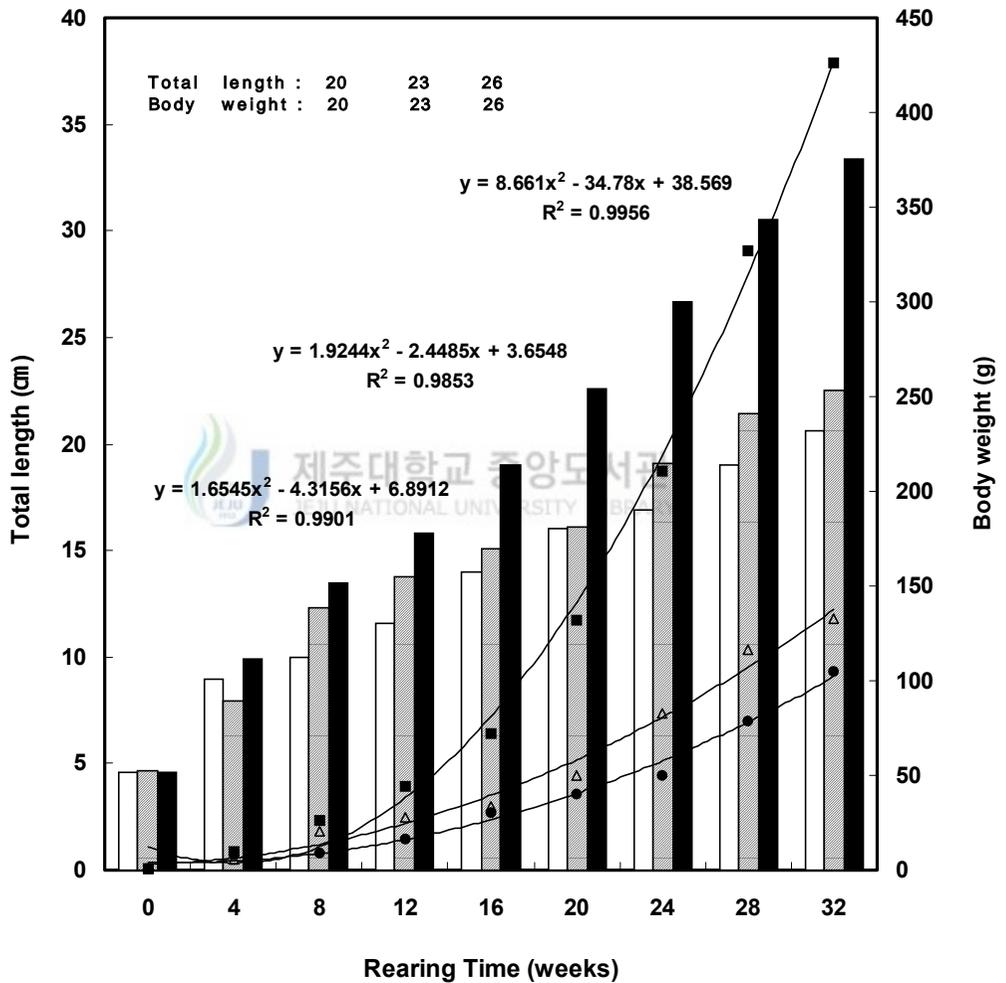


Fig. 6. Changes in total length and body weight of red drum by three different water temperature.

Table 2. Total length, body weight and survival rate of *Sciaenops ocellatus* at different water temperature

Feeding period : Nov. 13, 1999 to Dec. 10, 1999

Experimental group	Initial			Final			Total weight gain (g)	Survival rate (%)
	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)		
20 °C	400	4.6±0.2 ^a	1.2±0.2 ^a	399	8.9±0.5 ^b	8.0±1.2 ^b	2,746.4	99.8
23 °C	400	4.7±0.3 ^a	1.1±0.2 ^a	353	7.9±0.4 ^c	5.6±0.8 ^c	2,382.6	88.3
26 °C	400	4.6±0.3 ^a	1.2±0.2 ^a	382	9.9±0.5 ^a	9.9±1.2 ^a	3,390.0	96.0



Feeding period : Dec. 11, 1999 to Jan. 11, 1999

Experimental group	Initial			Final			Total weight gain (g)	Survival rate (%)
	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)		
20 °C	399	8.9±0.5 ^b	8.0±1.2 ^b	398	9.9±0.5 ^c	9.3±1.5 ^c	506.5	99.7
23 °C	353	7.9±0.4 ^c	5.6±0.8 ^c	352	12.3±0.7 ^b	20.4±3.7 ^b	5,204.1	99.7
26 °C	382	9.9±0.5 ^a	9.9±1.2 ^a	329	13.5±0.6 ^a	26.4±3.7 ^a	5,419.2	86.1

Values (mean±s.d.) in the same column followed by all different letter are significantly different (P<0.05).

Table. 2. continued

Feeding period : Jan. 12, 2000 to Feb. 7, 2000

Experimental group	Initial			Final			Total weight gain (g)	Survival rate (%)
	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)		
20°C	398	9.9±0.5 ^c	9.3±1.5 ^a	340	11.6±1.2 ^c	16.3±4.9 ^c	2,399.4	85.4
23°C	352	12.3±0.7 ^b	20.4±3.7 ^b	349	13.8±1.0 ^b	27.7±6.1 ^b	2,547.4	99.1
26°C	329	13.5±0.6 ^a	26.4±3.7 ^a	308	15.8±1.5 ^a	44.1±12.2 ^a	4,937.2	94.7



Feeding period : Feb. 8, 2000 to Mar. 6, 2000

Experimental group	Initial			Final			Total weight gain (g)	Survival rate (%)
	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)		
20°C	340	11.6±1.2 ^c	16.3±4.9 ^c	220	14.0±1.1 ^c	30.5±7.3 ^b	3,208.0	64.7
23°C	349	13.8±1.0 ^b	27.7±6.1 ^b	335	15.1±0.9 ^b	33.9±6.2 ^b	2,078.5	96.0
26°C	308	15.8±1.5 ^a	44.1±12.2 ^a	307	19.0±2.1 ^a	72.0±21.5 ^a	8,521.2	99.7

Values (mean±s.d.) in the same column followed by all different letter are significantly different ($P < 0.05$).

Table. 2. continued

Feeding period : Mar. 7, 2000 to Apr. 3, 2000

Experimental group	Initial			Final			Total weight gain (g)	Survival rate (%)
	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)		
20°C	220	14.0±1.1 ^c	30.5±7.3 ^b	217	16.0±1.0 ^b	40.1±7.2 ^c	2,151.7	98.6
23°C	335	15.1±0.9 ^b	33.9±6.2 ^b	327	16.1±1.3 ^b	50.2±11.6 ^b	5,408.7	97.6
26°C	307	19.0±2.1 ^a	72.0±21.5 ^a	306	22.6±1.8 ^a	132.1±30.8 ^a	18,288.6	98.5



Feeding period : Apr. 4, 2000 to May. 1, 2000

Experimental group	Initial			Final			Total weight gain (g)	Survival rate (%)
	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)		
20°C	217	16.0±1.0 ^b	40.1±7.2 ^c	213	16.9±1.3 ^c	50.3±11.4 ^c	2,132.3	98.2
23°C	327	16.1±1.3 ^b	50.2±11.6 ^b	327	19.1±1.4 ^b	82.8±17.9 ^b	10,660.2	100
26°C	306	22.6±1.8 ^a	132.1±30.8 ^a	306	26.7±1.8 ^a	211.0±48.4 ^a	24,174.4	100

Values (mean±s.d.) in the same column followed by all different letter are significantly different ($P < 0.05$).

Table. 2. continued

Feeding period : May. 2, 2000 to May. 29, 2000

Experimental group	Initial			Final			Total weight gain (g)	Survival rate (%)
	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)		
20°C	213	16.9±1.3 ^c	50.3±11.4 ^c	210	19.0±1.0 ^c	79.0±14.4 ^c	6,056.1	98.6
23°C	327	19.1±1.4 ^b	82.8±17.9 ^b	327	21.4±1.5 ^b	116.6±22.5 ^b	11,052.6	100
26°C	306	26.7±1.8 ^a	211.0±48.4 ^a	306	30.5±1.9 ^a	327.4±65.2 ^a	35,618.4	100



Feeding period : May. 30, 2000 to Jun. 26, 2000

Experimental group	Initial			Final			Total weight gain (g)	Survival rate (%)
	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)		
20°C	210	19.0±1.0 ^c	79.0±14.4 ^c	210	20.6±2.1 ^c	104.8±29.9 ^c	5,418.0	100
23°C	327	21.4±1.5 ^b	116.6±22.5 ^b	327	22.5±2.2 ^b	132.9±31.4 ^b	5,330.1	100
26°C	306	30.5±1.9 ^a	327.4±65.2 ^a	306	33.4±2.8 ^a	426.6±82.1 ^a	30,355.2	100

Values (mean±s.d.) in the same column followed by all different letter are significantly different ($P < 0.05$).

Table. 2. continued

Feeding period : Nov. 13, 1999 to Jun. 26, 2000								
Experimental group	Initial			Final			Total Weight gain (g)	Survival rate (%)
	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)		
20 °C	400	4.6±0.2 ^a	1.2±0.2 ^a	210	20.6±2.1 ^c	104.8±29.9 ^c	24,618.4	52.5
23 °C	400	4.7±0.3 ^a	1.1±0.2 ^a	327	22.5±2.2 ^b	132.9±31.4 ^b	44,665.6	81.8
26 °C	400	4.6±0.3 ^a	1.2±0.2 ^a	306	33.4±2.8 ^a	426.6±82.1 ^a	130,704.2	76.5

Values (mean±s.d.) in the same column followed by all different letter are significantly different (P<0.05).

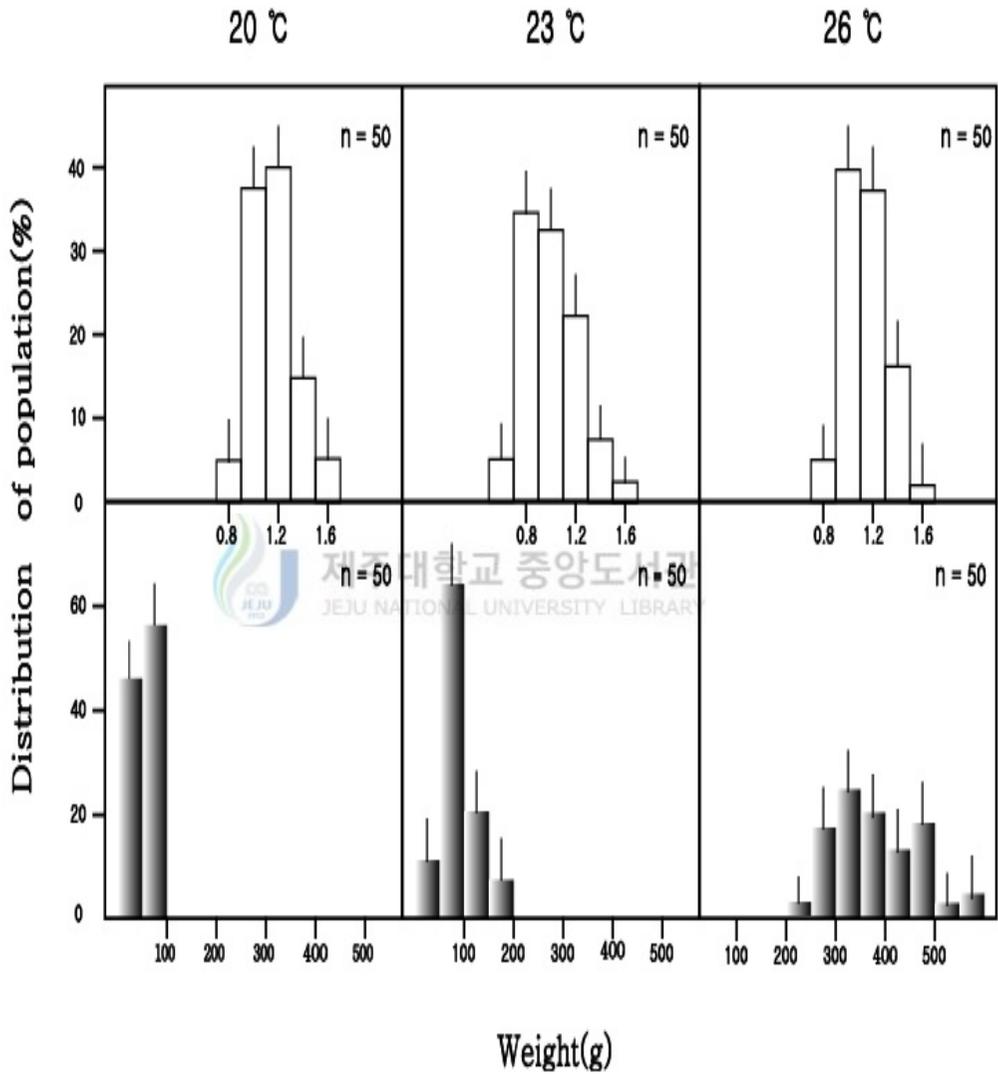


Fig. 7. Size frequency histograms of red drum at three different water temperature at initial experiment (□) and final experiment (■), n = number of fish.

2) 사육밀도에 따른 성장

2000년 8월 13일부터 2001년 1월 31일 까지 25주간 홍민어의 성장은 Fig. 8과 같다. 실험 시작시 평균 전장은 26.7 ± 0.7 cm이었으며, 실험 종료시 2.16 kg/m^3 , 4.24 kg/m^3 그리고 6.40 kg/m^3 에서 37.5 ± 2.4 , 37.3 ± 2.1 , 36.5 ± 1.8 cm로 성장하여 2.16 kg/m^3 와 4.24 kg/m^3 에서는 6.40 kg/m^3 보다 높은 성장을 하였다(Fig 8, Table 3, $P < 0.05$).

실험 시작시 평균 체중은 213.5 ± 46.7 g이었으며, 실험 종료시에 각각 744.9 ± 155.7 , 700.5 ± 127.2 , 667.0 ± 116.2 g로 성장하여, 2.16 kg/m^3 에서는 4.24 kg/m^3 과 6.40 kg/m^3 보다 빨리 성장하였고 사육밀도는 각각 7.26 kg/m^3 , 14.01 kg/m^3 그리고 19.17 kg/m^3 으로 증가하였다(Fig 8, Table 3, $P < 0.05$).

사육기간에 따른 각 실험구의 체중성장관계식은

$$2.14 \text{ kg/m}^3 : Y = -20.079X^2 + 243.98X - 1.02 \quad (r^2 = 0.9981)$$

$$4.24 \text{ kg/m}^3 : Y = -18.504X^2 + 224.17X + 15.6 \quad (r^2 = 0.9969)$$

$$6.40 \text{ kg/m}^3 : Y = -17.845X^2 + 211.55X + 30.2 \quad (r^2 = 0.9956)$$
이었다.

총 증중량(total weight gain)은 실험 종료시 2.14 kg/m^3 , 4.24 kg/m^3 그리고 6.40 kg/m^3 에서 각각 20,935.4, 39,084.4, 52,626.3 g이었다(Table 3).

생존율(survival rate)은 실험 종료시 2.14 kg/m^3 , 4.24 kg/m^3 그리고 6.40 kg/m^3 에서 각각 97.5%, 100% 와 95.8%로 전 실험구에서 생존율이 높았다.

실험 종료시 체중분포는 2.16 kg/m^3 에서 492.2~1291.3 g의 범위로 650~700 g범위의 개체들은 23.1%이었고 4.24 kg/m^3 에서는 359~1089 g범위로 650~700 g되는 개체들이 25%이었다. 그리고 6.40 kg/m^3 에서는 434~1039 g범위로서 600~650 g범위의 개체들이 20.9%로 실험 시작시 사육밀도 2.16 kg/m^3 실험구에서 체중의 분포가 가장 우측범위에서 형성되고 있었다(Fig 9).

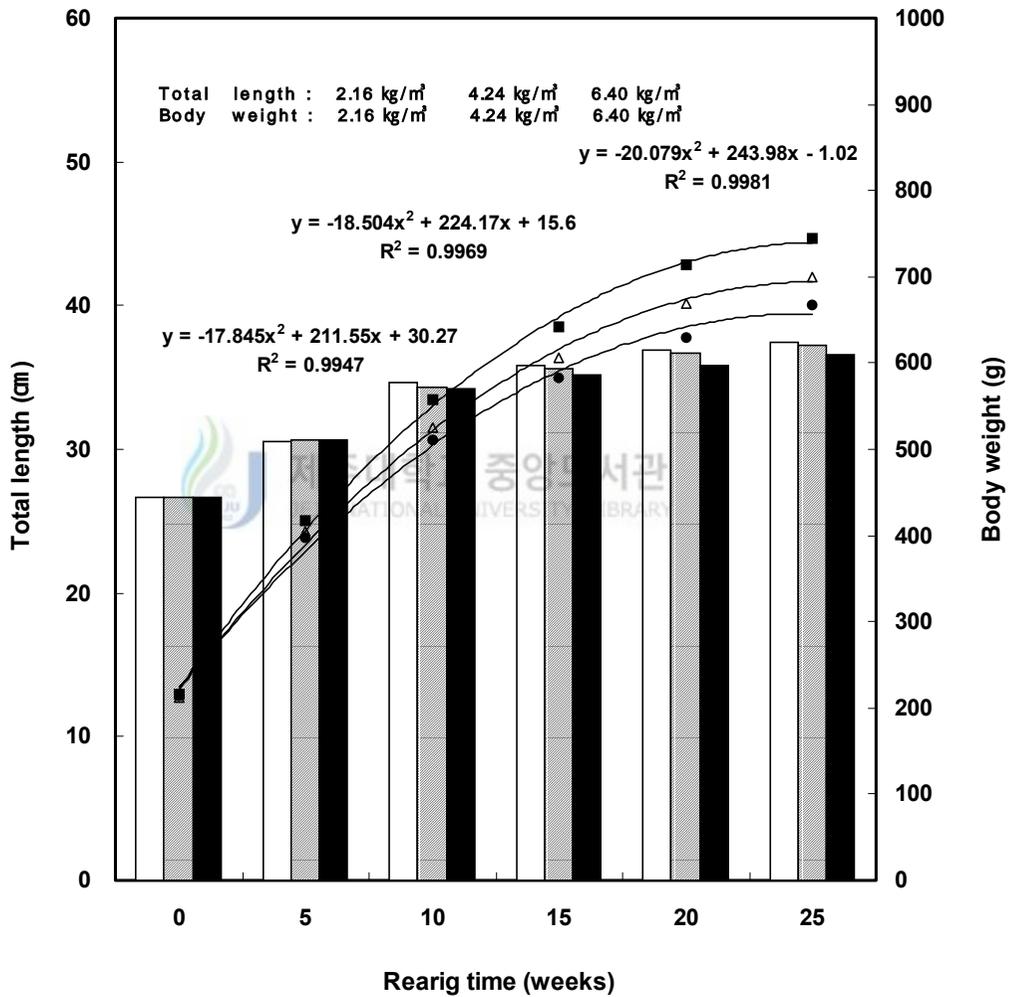


Fig. 8. Changes in total length and body weight of red drum by three different rearing density.

Table 6. Condition factor of *Sciaenops ocellatus* at different water temperature

Feeding period: Nov. 13, 1999 to Mar. 6, 2000

Experimental group	Determination point				
	Nov. 13, 1999	Dec. 10, 1999	Jan. 11, 2000	Feb. 7, 2000	Mar. 6, 2000
20°C	12.34±1.17 ^a	11.16±0.84 ^a	9.32±0.75 ^b	10.27±0.74 ^b	11.04±0.55 ^a
23°C	11.42±2.38 ^b	11.21±1.02 ^a	10.97±0.98 ^a	10.42±0.79 ^b	9.80±0.77 ^c
26°C	12.62±1.51 ^a	10.30±0.53 ^b	10.69±0.51 ^a	10.78±0.84 ^a	10.30±0.89 ^b



Feeding period: Mar. 7, 2000 to Jun. 26, 2000

Experimental group	Determination point			
	Apr. 3, 2000	May. 1, 2000	May. 29, 2000	Jun. 26, 2000
20°C	11.75±0.84 ^a	11.74±0.77 ^a	11.78±0.77 ^a	12.24±0.78 ^a
23°C	9.80±0.58 ^c	10.29±0.64 ^c	11.39±0.74 ^b	11.67±1.01 ^a
26°C	11.25±0.61 ^b	10.90±0.95 ^b	11.42±0.77 ^b	11.35±0.78 ^a

Values (mean±s.d.) in the same column followed by all different letter are significantly different ($P < 0.05$).

Table 3. Total length, body weight and survival rate of *Sciaenops ocellatus* at different rearing density

Feeding period : Aug. 13, 2000 to Sep. 25, 2000

Experimental group	Initial			Final			Total weight gain (g)	Survival rate (%)
	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)		
2.16 kg/m ³	40	26.6±1.7 ^a	215.6±50.4 ^a	39	30.6±2.0 ^a	417.4±81.0 ^a	8,072.2	97.5
4.24 kg/m ³	80	26.7±1.8 ^a	211.9±47.6 ^a	80	30.6±1.9 ^a	405.3±83.7 ^a	15,474.1	100
6.40 kg/m ³	120	26.6±1.7 ^a	213.2±42.1 ^a	118	30.7±1.9 ^a	398.0±71.1 ^a	22,166.7	98.3



Feeding period : Sep. 26, 2000 to Oct. 30, 2000

Experimental group	Initial			Final			Total weight gain (g)	Survival rate (%)
	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)		
4.17 kg/m ³	39	30.6±2.0 ^a	417.4±81.1 ^a	39	34.7±2.2 ^a	556.8±111.9 ^a	5,527.1	100
8.11 kg/m ³	80	30.6±1.9 ^a	405.3±83.7 ^a	80	34.3±1.9 ^a	525.6±96.2 ^{ab}	9,617.6	100
11.94 kg/m ³	118	30.7±1.9 ^a	398.0±71.1 ^a	118	34.2±2.0 ^a	511.1±84.4 ^b	13,295.5	100

Values (mean±s.d.) in the same column followed by all different letter are significantly different (P<0.05).

Table 3. continued

Feeding period : Oct. 31, 2000 to Nov. 30, 2000

Experimental group	Initial			Final			Total Weight gain (g)	Survival rate (%)
	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)		
5.43 kg/m ³	39	34.7±2.2 ^a	556.8±111.9 ^a	39	35.8±2.4 ^a	642.2±123.8 ^a	3,332.3	100
10.51 kg/m ³	80	34.3±1.9 ^a	525.6±96.2 ^{ab}	80	35.6±1.9 ^a	605.5±102.4 ^b	6,395.1	100
15.08 kg/m ³	118	34.2±2.0 ^a	511.1±84.4 ^b	115	35.2±1.2 ^a	582.3±99.3 ^b	7,817.0	97.5



Feeding period : Dec. 1, 2000 to Dec. 30, 2000

Experimental group	Initial			Final			Total Weight gain (g)	Survival rate (%)
	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)		
6.26 kg/m ³	39	35.8±2.4 ^a	642.2±123.7 ^a	39	36.9±2.4 ^a	713.5±135.5 ^a	2,779.4	100
12.11 kg/m ³	80	35.6±1.9 ^a	605.5±102.4 ^b	80	36.7±2.1 ^a	668.5±130.7 ^b	5,043.9	100
17.03 kg/m ³	115	35.2±1.8 ^a	582.3±99.3 ^b	115	35.8±1.8 ^b	628.7±103.9 ^b	4,944.0	100

Values (mean±s.d.) in the same column followed by all different letter are significantly different ($P < 0.05$).

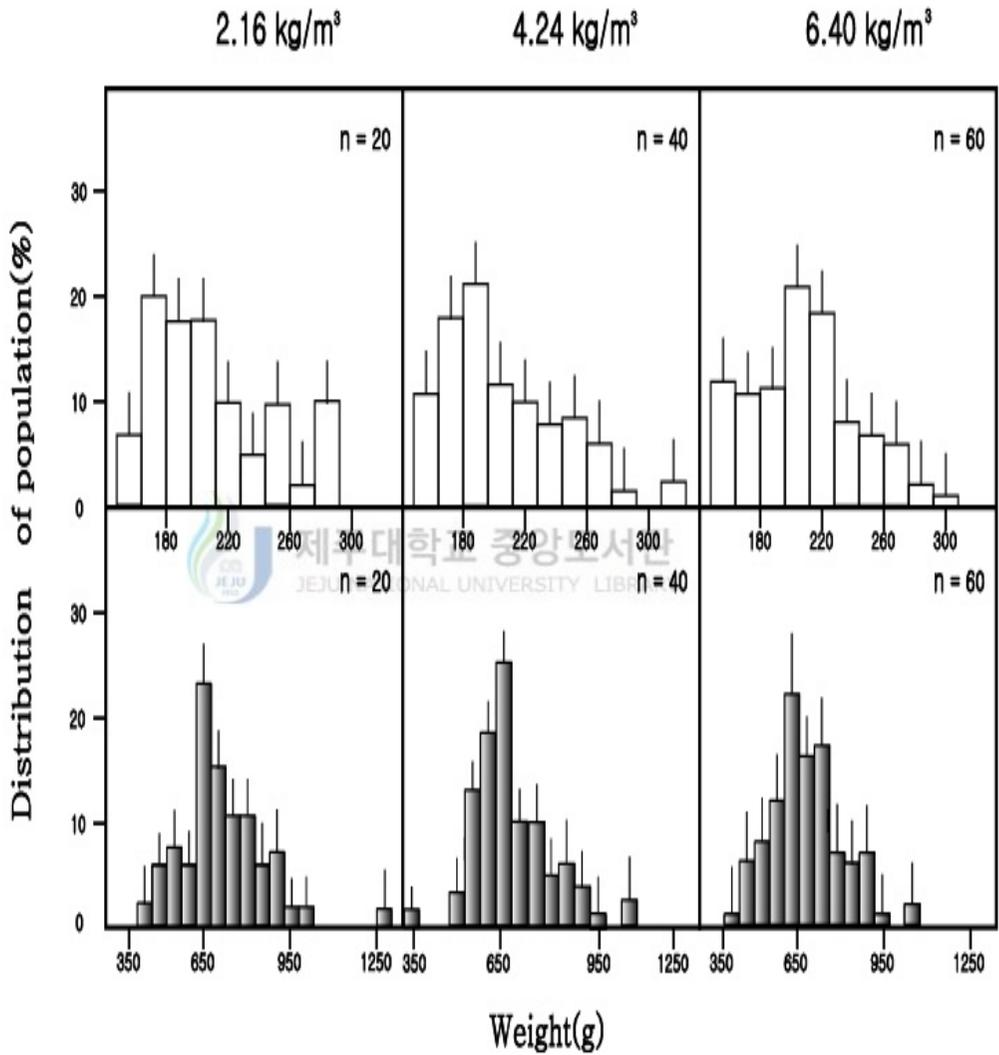


Fig. 9. Size frequency histograms of red drum at three different rearing density at initial experiment (\square) and final experiment (\blacksquare), $n =$ number of fish.

3. 사료계수, 일간성장률 및 일간섭식율

수온실험기간동안의 사료계수(feed coefficient), 일간성장률(daily growth rate) 및 일간섭식율(daily feeding rate)은 Table 4와 같다. 사료계수는 20℃ 와 23℃에서 각각 1.03와 1.04로 비슷하였고 26℃에서는 0.95로 사료효율이 가장 높았다. 일간성장률은 20, 23 그리고 26℃에서 각각 1.74, 2.03, 2.47 이었고 일간섭식율은 각각 0.88, 0.91, 0.97로 수온이 높을수록 높은 값을 나타내었다.

밀도실험기간동안의 사료계수, 일간성장률 및 일간섭식율은 Table 5와 같다. 사료계수는 2.16 kg/m³, 4.24 kg/m³ 그리고 6.40 kg/m³에서 각각 1.52, 1.33, 1.37로 2.16 kg/m³의 효율이 가장 낮았다. 일간성장률은 2.16 kg/m³, 4.24 kg/m³ 그리고 6.40 kg/m³에서 각각 0.72, 0.70, 0.65 이었고 일간섭식율은 각각 0.97, 0.83, 0.81로 사육밀도가 낮을수록 높은 값을 나타내었다.

4. 비만도(Condition factor)



수온실험 종료시에 비만도는 20, 23 그리고 26℃에서 각각 12.2±0.78, 11.67±1.01, 11.35±0.78로서 실험구간의 유의차는 없었다(Table 6, P>0.05).

밀도실험 종료시에 비만도는 2.16 kg/m³, 4.24 kg/m³ 그리고 6.40 kg/m³에서 각각 14.0±1.44, 13.4±1.15, 13.7±2.00으로 실험구간의 유의차는 없었다(Table 7, P>0.05).

Table 4. Feed coefficient, daily growth rate and daily feeding rate of *Sciaenop ocellatus* at different water temperature

Feeding period: Nov, 13. 1999 to Dec, 10. 1999

Experimental group	Feed coefficient	Daily growth rate (%)	Daily feeding rate (%)
20°C	0.55	6.80	3.09
23°C	0.90	6.64	4.93
26°C	0.74	7.45	4.28

Feeding period: Dec, 11. 2000 to Jan, 11. 2000

Experimental group	Feed coefficient	Daily growth rate (%)	Daily feeding rate (%)
20°C	3.12	0.46	1.44
23°C	0.65	4.02	3.00
26°C	0.68	2.77	1.76

Feeding period: Jan, 12. 2000 to Feb, 7. 2000

Experimental group	Feed coefficient	Daily growth rate (%)	Daily feeding rate (%)
20°C	0.98	1.86	1.79
23°C	1.27	1.12	1.42
26°C	1.60	1.67	1.06

Feeding period: Feb, 8. 2000 to Mar, 6. 2000

Experimental group	Feed coefficient	Daily growth rate (%)	Daily feeding rate (%)
20°C	0.98	1.69	1.63
23°C	1.13	0.72	0.81
26°C	1.21	1.80	2.13

Table 4. continued

Feeding period: Mar, 7. 2000 to Apr, 3. 2000			
Experimental group	Feed coefficient	Daily growth rate (%)	Daily feeding rate (%)
20℃	1.18	0.99	1.17
23℃	0.92	1.39	1.26
26℃	0.91	2.11	1.87

Feeding period: Apr, 4. 2000 to May, 1. 2000			
Experimental group	Feed coefficient	Daily growth rate (%)	Daily feeding rate (%)
20℃	1.18	0.78	0.93
23℃	1.11	1.79	1.95
26℃	0.87	1.67	1.44



Feeding period: May, 2. 2000 to May, 29. 2000			
Experimental group	Feed coefficient	Daily growth rate (%)	Daily feeding rate (%)
20℃	0.98	1.60	1.60
23℃	1.12	1.22	1.35
26℃	0.91	1.56	1.40

Feeding period: May, 30. 2000 to Jun, 26. 2000			
Experimental group	Feed coefficient	Daily growth rate (%)	Daily feeding rate (%)
20℃	1.05	1.01	1.05
23℃	1.19	0.46	0.55
26℃	1.16	0.95	1.09

Table. 4. continued

Feeding period: Nov, 13. 1999 to Jun, 26. 2000

Experimental group	Feed coefficient	Daily growth rate (%)	Daily feeding rate (%)
20°C	1.03	1.74	0.88
23°C	1.04	2.03	0.91
26°C	0.95	2.47	0.97

Table 5. Feed coefficient, daily growth rate and daily feeding rate of *Sciaenops ocellatus* at different rearing density

Feeding period: Aug, 13, 2000 to Sep, 25, 2000			
Experimental group	Feed coefficient	Daily growth rate (%)	Daily feeding rate (%)
2.16 kg/m ³	1.33	1.50	1.92
4.24 kg/m ³	1.02	1.47	1.45
6.40 kg/m ³	1.02	1.42	1.41

Feeding period: Sep, 26, 2000 to Oct, 30, 2000			
Experimental group	Feed coefficient	Daily growth rate (%)	Daily feeding rate (%)
4.17 kg/m ³	1.44	0.84	1.20
8.11 kg/m ³	1.47	0.74	1.08
11.94 kg/m ³	1.47	0.71	1.04

Feeding period: Oct, 31, 2000 to Nov, 30, 2000			
Experimental group	Feed coefficient	Daily growth rate (%)	Daily feeding rate (%)
5.43 kg/m ³	1.87	0.46	0.86
10.51 kg/m ³	1.59	0.46	0.72
15.08 kg/m ³	1.77	0.39	0.70

Feeding period: Dec, 1, 2000 to Dec, 30, 2000			
Experimental group	Feed coefficient	Daily growth rate (%)	Daily feeding rate (%)
6.26 kg/m ³	1.66	0.35	0.58
12.11 kg/m ³	1.43	0.33	0.47
17.03 kg/m ³	1.71	0.23	0.40

Table. 5. continued

Feeding period: Dec, 31. 2000 to Jan, 31. 2001			
Experimental group	Feed coefficient	Daily growth rate (%)	Daily feeding rate (%)
6.96 kg/m ³	1.92	0.13	0.26
13.37 kg/m ³	1.90	0.15	0.28
18.07 kg/m ³	1.75	0.18	0.32

Feeding period: Aug, 13. 2000 to Jan, 31. 2001			
Experimental group	Feed coefficient	Daily growth rate (%)	Daily feeding rate (%)
2.16 kg/m ³	1.52	0.72	0.97
4.24 kg/m ³	1.33	0.70	0.83
6.40 kg/m ³	1.37	0.65	0.81



Table. 3. continued

Feeding period : Dec. 31, 2000 to Jan. 31, 2001

Experimental group	Initial			Final			Total Weight gain (g)	Survival rate (%)
	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)		
6.96 kg/m ³	39	36.9±2.4 ^a	713.5±135.5 ^a	39	37.5±2.4 ^a	744.8±155.7 ^a	1,224.4	100
13.37 kg/m ³	80	36.7±2.1 ^a	668.5±130.7 ^b	80	37.3±2.1 ^a	700.5±127.2 ^b	2,553.7	100
18.07 kg/m ³	115	35.8±1.8 ^b	628.7±103.9 ^b	115	36.5±1.7 ^b	666.9±116.2 ^b	4,403.1	100



Feeding period : Aug. 13, 2000 to Jan. 31, 2001

Experimental group	Initial			Final			Total Weight gain (g)	Survival rate (%)
	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)	Number of fish	Total length (cm)	Body weight (g)		
2.16 kg/m ³	40	26.6±1.7 ^a	215.6±50.4 ^a	39	37.5±2.4 ^a	744.8±155.7 ^a	20,935.4	97.5
4.24 kg/m ³	80	26.7±1.8 ^a	211.9±47.6 ^a	80	37.3±2.1 ^a	700.5±127.2 ^b	39,084.4	100
6.40 kg/m ³	120	26.6±1.7 ^a	213.2±42.1 ^a	115	36.5±1.7 ^b	667.0±116.2 ^b	52,626.3	95.8

Values (mean±s.d.) in the same column followed by all different letter are significantly different (P<0.05).

Table 7. Condition factor of *Sciaenops ocellatus* at different rearing density

Feeding period : Aug. 13, 2000 to Jan. 31, 2001

Experimental group	Determination point					
	Aug. 13, 2000	Sep. 25, 2000	Oct. 30, 2000	Nov. 30, 2000	Dec. 30, 2000	Jan. 31, 2001
2.16 kg/m ³	11.25±1.05 ^a	14.45±1.02 ^a	13.23±1.00 ^a	13.84±1.28 ^a	14.11±1.73 ^a	14.01±1.44 ^a
4.24 kg/m ³	11.04±1.04 ^a	13.98±1.38 ^b	12.93±0.97 ^a	13.34±1.11 ^b	13.44±1.64 ^b	13.42±1.15 ^a
6.40 kg/m ³	11.20±1.36 ^a	13.73±1.36 ^b	12.97±1.52 ^a	13.35±1.50 ^b	13.62±1.47 ^{ab}	13.67±2.00 ^a

Values (mean±s.d.) in the same column followed by all different letter are significantly different (P<0.05).

IV. 고 찰

어류의 성장에 관여하는 요소로서는 유전적 요인(落合, 1970), 성장호르몬, 갑상선 호르몬, 성호르몬, 인슐린 등의 몇 가지 호르몬(Pickford, 1953; Ball, 1969)을 비롯한 내적 요인과 먹이(北島 등, 1976), 사육밀도(田中, 1981; Brett, 1971; Hogendoorn, 1983) 등의 생물적 요인을 포함하여 수온(Thompson and Riley, 1981), 염분(黃, 1984), 수질요인 등의 외적요인으로 나눌 수 있다. 이 중에서도 수온은 먹이와 같이 물고기의 성장과 발육을 지배하는 중요한 요인으로 알려져 있으며(隆島와 羽生, 1989; Mallekh et al., 1998; Warren, 1971) 어류의 대사, 성장 그리고 번식을 제어하는 환경적 요인으로 어류의 섭식 욕구에 직접적인 영향을 준다. 어류의 성장은 소화, 흡수, 물질대사와 배설의 복합적인 생리적 작용의 결과이며(Brett, 1979) 어류의 생리적 기능은 수온의 영향에 의한 효소활성으로 조절된다(Pelletier et al., 1995; Somero et al., 1996). 이처럼 수온은 어류의 성장을 제어하는 주 요인으로 작용을 하므로(Fry, 1971) 새로운 양식 대상종에 대한 사육개발과정의 최적사육환경측면에서 구명해야 할 중요한 환경적 요인으로 수온이 어류의 생리에 미치는 영향에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다.

산란기 붕돔, *pagrus pagrus*는 13.6°C~18.3°C의 범위에서 산란이 이루어지고 14°C 이상이 되면 난경이 작아지다가 산란이 종료되고(Mihelakakis et al., 2001), 나일 틸라피아, *Oreochromis niloticus*의 경우 초기 성전환은 수온과 매우 밀접한 연관이 있어 27°C에서는 수컷과 암컷의 비율이 거의 1:1을 유지하지만 그 이상의 수온에서는 수컷 개체가 많아지다가 38.5~39.0°C의 고수온에서는 주로 수컷개체가 많이 발생을 하며 37°C 이상의 수온은 생존, 성장에 있어서 한계수온이다(Baras et al., 2001).

어류는 각 어종 고유의 성장에 적합한 수온이 있고 적정 수온의 범위 내에서 수온이 높을수록 성장률이 높아지는 것은 Pacific sardin, *Sardinops sagax* (Lasker, 1964), sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka* (Brett, 1976) 그리고 *Solea solea* (Fonds, 1979)등에서 보고 된 바 있다. 난류성 어종인 붉은 썸뱅이, *Sebastes tertius*치어의 경우 17~29°C의 수온범위에서 23°C에서 최대성장이 유도되었으나 26°C이상의 고수온

에서 성장속도가 점차 감소하여 29℃에서 섭식과 성장이 급격히 저하되고(김 등., 1999) 붕메기, *Ictalurus punctatus*는 27~28℃에서 섭식율, 먹이효율이 높아 성장에 적합하다고 하며(Buentello et al., 2000) 조피볼락, *Sebastes schlegeli*의 경우 사육 적수는 15~18℃이하로 떨어질 경우 성장이 감소한다(Ikehara et al., 1980; 명 등., 1997). 그러나 저수온에서 잘 자라는 brown trout, *Salmo trutta*는 16~17℃에서(Ojanguren et al., 2001), 유럽산 넙치 (Turbot, *Scophthalmus maximus*)의 경우 100 g 되는 개체는 16~19℃, 3~20 g되는 개체는 18℃에서 가장 빠른 성장을 하고(Waller, 1992; Scherrer, 1984) 15℃이하가 되면 섭식 욕구가 급격히 떨어지고 성장이 둔화되며(Mallekh et al., 1998) 무지개 송어, *Oncorhynchus mykiss*의 경우 10에서 18℃로 수온이 상승하는 과정에서 소화율이 증가한다고 한다(Azevedo et al., 1998). 장갱이, *Stichaeus grigorjewi*는 16.9℃ 이상의 수온에서는 성장과 생존율이 낮아진다고 한다(이와 조, 1997).

자연에서 홍민어의 서식 가능 수온은 10~32℃로 광온성 어류이며 적정 수온은 23~28℃로 10℃이하가 되면 생존율이 떨어지며 5℃이하에서는 전멸한다고 한다(국립수산진흥원, 2001). 이 연구에서 홍민어는 실험구 26℃에서 20℃, 23℃에서보다 빠르게 성장하였고 저수온 실험구 20℃에서 성장률과 섭식율이 가장 낮아 실험기간동안 수온이 높을수록 빠른 성장을 하였다. 그러나 성장 적수온을 구명하기 위하여 설정한 최고수온 26℃에서 성장이 가장 빠르게 나타나 자연에서의 결과(국립수산진흥원, 2001)와 유사하게 나타났지만 실제 우리 나라의 양식환경에서 26℃ 이상을 계속 유지한다는 것은 경제성에서 문제가 있다고 판단하였기 때문에 최고수온을 26℃에 두었고 육상수조의 여름철 수온은 27~28℃로 상승할 때가 있지만 양성에는 별 문제가 되지 않을 것으로 생각된다. 어류의 성장에 가장 큰 영향을 주는 생활수온은 종 특유의 호적수온을 가지고 있으므로 한류계인 brown trout이나 유럽산 넙치, 장갱이류와 비교가 될 수 없으나 김 등(1999)의 붉은 썸벵이나 Ikehara et al (1980)의 조피볼락에 비교하여도 홍민어의 사육 적수온 범위는 넓게 나타났으며 특히 고수온에서 성장이 빠른 어종이라고 생각된다. 자연에서 홍민어 성어의 성장은 대단히 빨라 체장 66 cm의 크기를 표지 방류하여 8개월 후에 조사한 결과 86 cm로 1개월에 평균 2.5 cm로 성장한다(국립수산진흥원, 2001). 이 연구에서 홍민어의 수온에 따른 성장에서 실험 종료시 체중분포는 Fig. 7과 같이 20℃에서 57.2~177.9 g의 범위로 50~100 g되는 개체들이

54%이었고, 23℃에서는 76.5~247.7 g범위로 50~100 g되는 개체들이 64%이었으며, 그리고 26℃에서는 228.7~631.3 g범위로서 300~350 g되는 개체들이 24%로 수온이 높을수록 개체의 체중의 분포는 우측에서 형성되고 있다. 이 연구에서 호적수온으로 판단된 26℃ 실험구의 월별 전장의 성장은 시작당시인 11월에 4.6 cm, 12월에 9.9 cm, 1월에 13.5 cm, 실험 종료시인 6월에 33.4 cm로 적수온 실험기간인 8개월 동안 28.8 cm를 성장하여 월간 평균성장은 3.6 cm로서 성장단계가 다른 자연에서 성어의 성장과 비교는 어렵다고 생각되나 성장이 빠른 어종으로서 양식 개발 대상으로 좋은 조건이라고 생각된다.

어류는 사육적온범위에서 대사과정에 영향을 주는 중요한 요인으로 수온이 높을수록 체내의 대사가 빠르게 진행되고 먹이 요구량이 증가된다(Murry, 1971). 넙치의 경우 사육 적수온인 18~25℃의 범위에서 수온이 높을수록 섭식량이 많아지며, 소화관 내 먹이의 이동속도도 빠르게 진행된다고 한다(田村, 1974). 또한 치어의 경우 19~21℃, 24~25℃의 두 수온범위의 섭식율의 비교에서 24~25℃에서 섭식율이 높은 것으로 보고하였다(元 등., 1988). 이 연구에서 20, 23 그리고 26℃에서 일간성장률과 일간섭식율은 각각 0.88, 0.91, 0.97% 이었고 일간성장률은 각각 1.74, 2.03, 2.47%로 수온이 높을수록 섭식율과 성장률도 높게 나타나 앞에서의 보고와 잘 일치되고 있다. 생존율은 20, 23 그리고 26℃ 실험구에서 각각 52.5%, 81.8 그리고 76.5%으로 실험 개시 4주 동안의 사육초기의 대량 폐사로 낮게 나타났다. 이것은 치어의 운송과정 중의 stress에 의한 것으로 치어 운송에 대한 구체적인 방안도 연구되어야 할 것으로 생각된다.

어류의 성장에 관여하는 내적 요인으로서 사육밀도는 개체들간의 먹이 경쟁과 공간 경쟁에 직접적인 관계가 있고 어류의 성장에 영향을 미치는 중요한 요인으로서(Brett, 1979) 섭식에 영향을 주어(Brown et al., 1992; Christianssen et al., 1992) 성장에 영향을 미친다. 양식생산비용 절감을 위하여 한정된 공간에서 어류의 사육밀도를 최대한으로 하면서 적정 성장을 유지시키는 것은 경영적 측면에서 매우 중요한 요인으로 성장에 사육밀도가 미치는 영향에 대하여 많은 어종을 대상으로 검토되어 왔다. 평균체중 6.6 g되는 유럽산 농어, *Dicentrachus labrax*치어를 대상으로 폐쇄식 순환여과시스템에서 80, 165, 325 그리고 650 개체/m³의 밀도로 168일 동안 사육한 결과 평균체중은 각각 23.20, 25.63, 26.93 그리고 27.57 g으로 성장하여 고밀도 실험구에서 성장이 빨랐

고(Papoutsoglou et al., 1998), 평균체중 32 g되는 아프리카산 메기, *Claris gariepinus* 를 1×1×1.5 m의 가두리에서 각각 1.66, 3.44, 4.65 그리고 6.40 kg으로 수용하여 8주 동안 사육하였을 때 체중은 각각 387.75, 364.93 357.13 그리고 346.81 g으로 저밀도 실험구에서 성장이 빨랐으나 총 생산량은 각각 16.30, 31.19, 48.81 그리고 60.31 kg으로 고밀도에서 높게 나타났다(Hengsawat, 1997). 저서성 어류인 터봇의 상업적 양식에서 일반적으로 25~30 kg/m³의 사육밀도 범위로 사육이 되지만(Iglesias et al., 1978) 최대 75 kg/m³로 사육이 가능하고 150 kg/m³의 사육밀도에서는 성장이 감소하고(Danielssen and Hjertnes, 1991) halibut, *Hippoglossus hippoglossus*의 경우 수조 저면을 100% 덮을 수 있는 밀도에서 성장이 효과적이었다고(BjØrnsson, 1994) 보고한데 비하여 넙치의 경우 저면적의 4배 이상까지 치어를 수용하여도 성장과 생존에 지장이 없어 고밀도 사육이 가능하다고 한다(張과 柳, 1988). 이 연구에서 홍민어의 치어는 2.16, 4.24 그리고 6.40 kg/m³의 밀도로 조절하여 25주 동안 사육한 결과 2.16 kg/m³에서 가장 빠르게 성장하였으며 사육밀도가 증가함에 따라 성장이 저하되었으나 총 증중량에서는 고밀도구에서 높게 나타나 Hengsawat (1997)의 보고와 잘 일치되고 있다. 사육밀도가 높아질수록 성장이 낮아지는 경향은 *Salvelinus alpinus* (Christianssen et al., 1992)와 *Gadus morhua* (Lambert and Dutil, 2001) *Oncorhynchus mykiss* (Kincaid et al., 1976; Trzebiatowski et al., 1981)등의 다른 어종에서도 공통된 현상이었다. 사육밀도에 따른 성장실험에서 종료시 체중의 분포는 Fig. 9와 같이 2.16 kg/m³에서 492.2~ 1291.3 g의 범위로 650~700 g범위의 개체들은 23.1%이었고 4.24 kg/m³에서는 359~1089 g범위로 650~700 g되는 개체들이 25%이었다. 그리고 6.40 kg/m³에서는 434~1039 g범위로서 600~650 g범위의 개체들이 20.9%로 실험 시작시 사육밀도 2.16 kg/m³ 실험구에서 체중의 분포가 가장 우측범위에서 형성되고 있다. 일간섭식율과 일간성장률은 2.16, 4.24, 6.40 kg/m³에서 각각 0.97, 0.83, 0.81% 그리고 0.72, 0.70, 0.65%으로 사육밀도가 증가함에 따라 감소하였다. 그러나 대서양 연어, *Salmo solar*의 경우 35~45, 65~85 그리고 100~125 kg/m³로 나누어 사육한 결과 성장의 차이가 없었고(Kjartansson et al., 1988) *Salvelinus alpinus*는 40~50 kg/m³까지의 고밀도로 사육하였을 때 성장이 빠르다고 한다(Baker and Ayles, 1990). 고밀도 사육에서 적정성장을 유지시킬 수 있다면 생산성 면에서 매우 효과적이다. 이 연구에서 실험 시작시 2.16 kg/m³ 4.24 kg/m³ 와 6.40 kg/m³의 사육밀

도는 어체 성장에 따른 증가로 실험 종료시에 증중량이 각각 5.10 kg, 9.77 kg 그리고 12.76 kg으로 실험 종료시에는 사육밀도가 각각 7.26, 14.01, 19.17 kg/m³으로 증가하였고 실험 시작시 실험구 6.40 kg/m³에서 가장 생산성이 높았다. 이처럼 고밀도 양식에 의한 생산성 향상은 경영적 측면에서 효과적이지만 적정 사육밀도 이상의 사육은 한정된 공간에서 개체간의 먹이와 공간 경쟁을 유발시켜 개체간 성장 불균형, 사육수의 DO 저하, 암모니아 농도 증가 등으로 수질 악화로 이어져 질병을 유발시키고 성장을 저하시켜 결국은 생산성 제고에 역효과를 불러일으킬 수 있다. 따라서 적정밀도를 유지하면서 어류의 최대성장을 유도하는 것은 중요하다. 이 연구기간동안 2.16, 4.24 그리고 6.40 kg/m³에서의 생존율은 각각 97.5, 100 그리고 95.8%로 crayfish, *Orconectes virilis* (Brown et al., 1995)와 같이 사육밀도가 높아짐에 따라 성장이 급격하게 감소하거나 대서양 연어(Refstie and Kittelsen, 1976)와 같이 사육밀도가 낮아짐에 따라 폐사율이 증가하는 치사한계밀도는 관찰되지 않았다. 실험 개시 후 15주부터 성장이 완만해졌던 것은 동절기 자연수온 조건하에서 사육밀도에 따른 성장차이를 비교하는 과정에서 자연수온이 14℃이하로 떨어져 실험어의 섭식에 영향을 미치고 성장의 저해요소로 작용한 것으로 판단이 된다.

이상의 결과에서 홍민어는 수온 26℃ 실험구에서 가장 빠르게 성장하였고, 약 14℃ 이하의 수온에서는 섭식율의 급격한 감소와 성장이 정체되는 것으로 보아 적합하지 않은 것으로 판단되며, 사육밀도에 따른 실험결과에서 최저사육밀도 2.16 kg/m³에서 가장 빠른 성장을 하였고, 6.40 kg/m³에서 생산성이 가장 높게 나타났으며, 실험종료 1개월 전 최고사육밀도 18.07 kg/m³로 변화하는 사육밀도 범위는 홍민어의 성장에 있어서 적정사육밀도 범위에 포함되는 것으로 판단된다. 그러나 최적의 사육환경을 구명하기 위해서 실시하였던 사육밀도 실험에서 대규모의 수량을 일정온도로 유지할 수 있는 실험시설의 미비로 인하여 성장 적수온 범위에서 성장조사가 수행되지 못하였던 것이 아쉬운 점이었으므로 금후 생산성과 최대성장유도를 고려한 적정사육밀도에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것으로 생각된다.

V. 요약

수온과 사육밀도에 따른 홍민어의 성장을 조사하기 위하여 20, 23 그리고 26℃로 각각 조절된 항온 수조에서 평균전장 4.60±0.3 cm, 체중 1.17±0.6 g되는 치어를 32주간 비교 사육하였으며, 평균 전장 26.6±1.7 cm, 체중 213.6±46.7 g되는 개체를 대상으로 사육밀도 2.16, 4.24 그리고 6.40 kg/m³로 조절하여 25주 동안 사육하였다.

수온에 따른 성장실험에서 전장은 26℃에서, 가장 빨리 성장을 하였고 체중에서도 26℃, 23℃, 20℃ 순으로 수온이 높을수록 빨리 성장하였다(P<0.05).

생존율은 23℃ 실험구에서 81.8%로 가장 높았고 일간섭식율과 일간성장률은 26℃에서 가장 높아 수온이 높을수록 높은 값을 나타내었다. 그러나 3단계의 온도 실험구에서 비만도는 유의차이가 인정되지 않았다(P>0.05).

사육밀도에 따른 전장의 성장은 2.16 kg/m³과 4.24 kg/m³에서는 6.40 kg/m³보다 빠른 성장을 하였고 체중의 성장은 2.16 kg/m³에서 4.24 kg/m³과 6.40 kg/m³에서 보다 빨리 성장하였으며(P<0.05), 실험 시작시 2.16 kg/m³, 4.24 kg/m³ 그리고 6.40 kg/m³의 사육밀도는 실험 종료시 각각 7.26 kg/m³, 14.01 kg/m³, 19.17 kg/m³로 증가하여 6.40 kg/m³에서 생산성이 가장 높았다.

사육밀도별 실험구의 시험기간중의 생존율은 95.8~100%로 높게 나타났고 일간성장률과 일간섭식율은 2.16 kg/m³에서 4.24 kg/m³와 6.40 kg/m³에서 보다 높아 저밀도 실험구일수록 높은 경향이었으며 비만도는 각 실험구에서 비슷한 경향이었다(P>0.05).

V. 참 고 문 헌

- Arnold, C. R. 1988. Controlled year-round spawning of red drum, *Sciaenops ocellatus* in captivity. Contributions in Marine Science. 30, 65~70
- Arnold, C. R. 1991. Precocious spawning of red drum. Progressive Fish-culturist. 53, 50~51.
- Azevedo, P. A., C. Y. cho, S. Leeson and D. P. Bureau. 1998. Effects of feeding level and water temperature on growth, nutrient and energy utilization and waste outputs of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquat. Living Resour., 11(4), 227~238.
- Baker, R. F and G. B. Ayles. 1990. The effect of varying density and loading level on the growth of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture. 121, 313~326.
- Ball, J. N. 1969. Prolactin (fish prolactin or paralactin) and growth hormone, In Fish Physiology vol. II (eds W. S. Hoar & D. J. Randall). Academic press, New York, pp.207~240.
- Baras, E., B. Jacobs and C. Melard. 2001. Effect of water temperature on survival, growth and phenotypic sex of mixed (XX-XY) progenies of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture. 192, 187~199.
- BjØrnsson, B. 1994. Effects of stocking density on growth rate Halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) reared in large circular tanks for three years. Aquaculture. 123, 259~270.
- Brett, J. R. 1971. Satiation time, appetite and maximum food intake of sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. J. Fish. Res. Board Can., 28, 409~415.
- Brett, J. R. 1976. Scope for metabolism and growth of sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka* and some relative energetics. J. Fish. Res. Board. Can., 33, 307~313.

- Brett, J. R. 1979. Environmental factors and growth. In: Hoar, W. S., D. J. Randal and J. R. Barrett (Editors), Fish Physiology, Vol. VIII. Academic Press. Orlando, Florida, U.S.A. pp.599~675.
- Brown, P. B., K. A. Willson, J. E. Wetzel and B. Hoene. 1995. Increased densities result in reduced weight gain of crayfish, *Orconectes virilis*. J. World Aquacult. Soc., 26, 165~171.
- Brown, G. E., J. A. Brown and P. K. Srivastava. 1992. The effect of stocking density on the behaviour of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). J. Fish Biol., 41, 955~963.
- Buentello, J. A., D. M. Gatlin III and W. H. Neill. 2000. Effects of water temperature and dissolved oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Aquaculture. 182, 229~352.
- Christianssen, J. S., Y. S. Svendsen and M. Jobling. 1992. The combined effects of stocking density and sustained exercise on the behaviour, food intake and growth of juvenile Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). Can. J. Zool., 70, 115~122.
- Colura, R. L., A. H. Arzapalo and A. F. Maciorowski. 1991. Culture of red drum. In J. P. McVey (ed), Handbook of Mariculture, Vol, II. Finfish Aquaculture, CRC Press, U.S.A. pp. 149~166.
- Comyns, B. H., J. L. Shultz, D. L. Nieland and C. A. Wilson. 1991. Reproduction of red drum, *Sciaenops ocellatus*, in the north central Gulf of Mexico: seasonality and spawner biomass. NOSS natn mar Fish Serv tech Rep US Dep Commerce. 95, 392~402.
- Danielssen, D. S and T. Hjertnes. 1991. Effect of dietary protein levels in diets for turbot (*Scophthalmus maximus* L.) to market size. In: Kaushik, S. J., Luquet, P., (Eds.), Fish Nutrition in Practice (Les Colloques, no. 61). INRA, Paris, pp.89~96
- Duncan, D. B. 1955. Multiple-range and multiple range test. Biometrics., 11, 1~42.

- Fonds, M. 1979. Laboratory observation on the influence of temperature and salinity on development of the eggs and growth of the larvae of *solea solea*. Mar. Eco. Prog. Ser., 1, 91~99.
- Fry, F. E. J. 1971. The Effect of environmental factors on the physiology of fish In: Hoar, W. S., Randall, D. J. (Eds.), Fish Physiology, Vol. 6. Academic press, New York, pp.1~98.
- Gatlin, D. M. III. 1995. Review of red drum nutrition. In:Lim, C.E., Sessa, D.J.(Eds.), Nutrition and Utilization Technology in Aquaculture. American Oil Chemists' Society Press, Champaign, pp.41~49
- Hengsawat, K., F. J. Ward and P. Jaruratjamorn. 1997. The effect of stocking density on yield, growth and mortality of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell 1822) cultured in cages. Aquaculture. 152, 67~76.
- Hogendoorn, H. 1983. Growth and production of the African catfish, *Clarias gariepinus* during the primary nursing phase. Aquaculture. 63(special issue), 195~204.
- Holt, G. J and M. A. Banks. 1988. Salinity tolerance and development of osmoregulation in larval sciaenidae. Pro. Int Council Exploration Seas., 63, 1~12.
- Holt, J., R. Godbout and C. R. Arnold. 1981. Effects of temperature and salinity on egg hatching and larval survival of red drum, *Sciaenops ocellatus*. Fish Bull., 79, 569~573.
- Holt, S. A., C. L. Kitting and C. R. Arnold. 1983. Distribution of young red drums among different sea-grass meadows. Trans Am Fish Soc., 112, 267~271.
- Iglesias, J., M. Olmedo, J. J. Otero., J. B. Peleteiro and M. R. Solorzano. 1978. Growth, under laboratory conditions, of turbot, *Scophthalmus maximus*, from the Ria de Vigo (north-west Spain). Mar. Biol., 96, 11~17.
- Ikehara, K., M. Nagahara, Y. Yamada and K. Naiki. 1980. Fundamental studies for establishing rockfish culture techniques. 5. Feeding experiments on young rockfish, *Sebastes schlegeli* during summer season. Bull. Jap. Sea. Reg.

- Fish. Res. Lab. 13, 57~63.
- Kincaid, H. L., W. R. Bridges, A. E. Thomas and M. J. Donahoo. 1976. Rearing capacity of circular containers of different sizes for fry and fingerling rainbow trout. Prog. Fish Cult., 38, 11~17
- Kissil, G. W. 1996. Aquaculture in Israel. World Aquacult. 27, 25~30
- Kjartansson, H., S. Fivelstad, J. M. Thomassen and M. J. Smith. 1988. Effect of different stocking densities on physiological parameters and growth of adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared in circular tanks. Aquaculture. 73, 261~274.
- Lambert, Y and J. D. Dutil. 2001. Food in take and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size-grading. Aquaculture. 192, 233~247.
- Lasker, R. 1964. An experimental study of the effect of temperature on the incubation time, development, and growth of pacific sardine embryos and larvae. Copeia 2, 339~405.
- Lasswell, J. L., G. Garza and W. H. Bailey. 1977. Status of marine fish introductions into the fresh water of Texas. Proc. Annu. Conf. Southeast. Assoc. Fish. Wildl. Agencies 31, 399~403.
- Lee, C. S. 1997. Marine finfish hatchery technology in the USA-status and future. Hydrobiologia. 358, 46~48.
- Llanso, R. J., S. S. Bell and F. E. Vose. 1998. Food habits of red drum and spotted sea trout in a restored mangrove impoundment. Estuaries., 21, 294~306.
- Mallekh, R., J. P. Lagardere, M. L. B. Anras and J. Y. Lafaye. 1998. Variability in appetite of turbot, *Scophthalmus maximus* under intensive rearing conditions: the role of environmental factors, Aquaculture. 165, 123~138.
- Matlock, G. C. 1986. Estimating the direct market economic impact of sport angling for red drum in Texas. N. Am. J. Fish. Manage., 6, 490~493.
- Matlock, G. C. 1987. The life history of red drum. In: Chamberlain, GW, Miget, R

- J., Haby, MG. (Eds), Manual on Red drum aquaculture. Texas Agricultural Extension Service and Sea Grant College program, Texas A&M University, College Station, Texas, pp.1~47.
- Mihelakakis, A., T. Yoshimatsu and C. Tsoikax. 2001. Spawning in captivity and early life history of cultured red porgy, *pagrus pagrus*. Aquaculture. 199, 333~352.
- Murray, R. W. 1971. Temperature receptors. In: W. S. Hoar and D. J. Randall (Editors), Fish Physiology, Vol. V. Academic Press, New York, U.S.A. pp. 121~133.
- Ojanguren, A. F., F. G. R. Gavilan and F. Brana. 2001. Thermal sensitivity of growth, food intake and activity of juvenile brown trout. J. Thermal Biology. 26, 165~170.
- Papoutsoglou, S. E., G. Tziha, X. Vrettos and A. Athanasiou. 1998. Effect of stocking density on behavior and growth rate of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) Juveniles reared in a closed circulated system. aquacultural engineering. 18, 135~144.
- Parker, H. 1993. Cultivation of marine finfish in North America Spec. Publ. Eur. Aquacult. Soc., 19, 289~290.
- Pelletier, D., P. U. Blier, J. D. Dutil and H. Guderley. 1995. How should enzyme activities be used in fish growth studies?. J. Exp. Biol., 198, 1493~1497.
- Peters, K. M and RH. Jr. McMichael. 1987. Early life history of the red drum *Sciaenops ocellatus* (Pises: Sciaenidae) in Tampa Bay, Florida. Estuaries., 10, 92~107.
- Pickford, G. E. 1953. A study of the hypophysectomized male killfish, *Fundulus heteroclitus* (Linn.). Bull. Bingham Oceanogr. Collect., 14, 5~41
- Refstie, T and A. Kittelsen. 1976. Effect of density on growth and survival of artificially reared *Atlantic salmon*. Aquaculture. 8, 319~350.
- Ricker, W. E. 1969. Effect of size-selective mortality and sampling bias on estimates of growth, mortality, production and yield. J. Fish. Res. Board

- Can., 26, 479~541.
- Rooker, J. R and S. A. Holt. 1997. Utilization of subtropical sea grass meadows by newly settled red drum (*Scienops ocellatus*): patterns of distribution and growth. Mar Ecol prog Ser., 158, 139~149.
- Scherrer, P. 1984. Influence de la temperature et de la salinity sur la croissance et la consommation d'oxygene de juvenile de turbot *Scophthalmus maximus* L. (phase nurserie). These de 3 eme cycle, University de Bretagne Occidentale, p.151.
- Somero, G. N., E. Dahlhoff and J. J. Lin. 1996. Steno therms and eurytherms: mechanisms establishing thermal optima and tolerance ranges. In: Johnston, I. A., Bennett, A. F. (Eds.), Animals and Temperature. Phenotypic and Evolutionary Adaptation. Cambridge University Press, Cambridge., pp.53~78.
- Thomas, P and C. R. Arnold. 1993. Environmental and hormonal induction of gonadal recrudescence and spawning in red drum, spotted sea trout and some other sciaenidae fishes. In: Muir, J.F., Roberts, R.J. (Eds.), Recent Advances on Aquaculture vol. IV. Blackwell, Oxford., pp.31~42.
- Thompson, B. M and Riley, J. D. 1981. Egg and larval development studies in the north sea cod (*Gadus morhua* L.). Rapp. P. v. Reun. Cons. int. Explor. Mer., 178, 553~559.
- Trzebiatowski, R., J. Filipiak and R. Jakubowski. 1981. Effect of stock density on growth and survival of rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich). Aquaculture. 22, 289~295.
- Waller, U. 1992. Factors influencing routine oxygen consumption in turbot *Scophthalmus maximus*. J. Appl. Ichthyol., 8, 62~71.
- Warren, C. 1971. Biology and Water Pollution Control. Saunders, Philadelphia, PA, p.434.
- 국립수산진흥원, 2001. 양식대상 외래종의 생태. 구덕인쇄출판사. pp.22~45
- 김광수 · 임상구 · 김철원 · 허성범, 1999. 수온, 자어밀도 및 먹이공급량이 붉은 쏨뱅이, *Sebastes tertitus* 자어의 성장과 생존율. 한국양식학회지. 12(3), 213~220.

- 落合 明, 1970. 成長. '魚類生理' (川本信之編), 恒星社厚生閣, 東京. pp.216~244.
- 隆島史夫·羽生 功, 1989. 水族繁殖學, 水産養殖學構座 第4卷. pp.268~269.
- 명정인·박승렬·장영진, 1997. 사육수온과 먹이공급량이 조피볼락의 성장 및 사료효율에 미치는 영향. 한국양식학회지. 10(3), 311~320.
- 北島 力·福所邦彦·岩本 浩·山本博敬, 1976. マダイ稚仔のシオミズツボワムシ攝餌量. 長崎縣水産試験場研究報告. 2, 105~112.
- 元文星·張榮振·柳晟奎, 1988. 넙치, *Paralichthys olivaceus* 子魚 및 稚魚의 攝食과 消化. 한국양식학회지. 1(1), 1~11
- 이정의·조재윤, 1997. 장갱이, *Stichaeus grigorjewi* Herzenstein의 종묘생산에 관한 연구, 2, 자치어 성장에 미치는 수온의 영향. 한국양식학회지. 10(3), 239~253.
- 張榮振·柳晟奎, 1988. 閉鎖循環濾過시스템에서의 넙치, *Paralichthys olivaceus* 稚魚의 飼育密度-高密度飼育의 可能性. 한국양식학회지. 1(1), 13~24.
- 田中 克, 1981. 海産仔魚の攝餌と生殘-II 生殘に必要な限界餌料密度の推定(1). 海洋と生物. 3(1), 63~68.
- 田村 保, 1974. 魚類生理學概論. 恒星社. p.72.
- 黃 鵬鵬, 1984, 硬骨魚類の胚期仔稚魚期における鹽類細胞の形態に関する研究. 東京大學博士論文, 東京大學, 東京. pp.166.

감사의 글

이 논문은 새로운 출발을 의미합니다. 이 논문을 수행함에 있어서 부족했던 정성과 흥민어에 대한 모자랐던 사랑과 열정은 이 글을 쓰면서 부끄러움과 아쉬운 마음으로 남고 새로운 출발에 대한 마음을 다지게 합니다. 그럼에도 이 논문이 완성되기까지 저를 夫情으로 이끌어 주시고 출장을 가셔서도 들고 다니시면서 지도해 주신 노 섬 선생님께 고개 숙여 감사드리며, 언제나 관심과 따뜻한 충고를 아끼지 않으셨던 이영돈 선생님, 곁에서 따뜻한 미소로 격려해 주셨던 최광식 선생님께 감사를 드립니다. 또한 지도 편달을 아끼시지 않고 지켜봐 주신 이정재 선생님, 정상철 선생님, 이기완 교수님께 감사를 드립니다.

끈끈한 인연으로 형님, 누님처럼 곁에서 이끌어 주셨던 변 수철 선배님과 종수형, 필연누나, 실험을 진행하는 과정에서 못난 선배에게 묵묵히 도움을 준 성일, 정호, 영석, 명관, 남룡, 유경에게도 감사를 드리고 많은 시간을 같이하며 情의 따뜻함을 알게 해준 오수형, 도형이형, 영보형, 상균이형과 대학원 선배님들, 우정으로 격려를 아끼지 않았던 치훈, 그리고 정권, 진완, 창범, 한준, 범호, 지웅이와 업무가 끝난 사무실에서도 선배를 잊지 않고 도와주었던 선희에게 감사를 드리고 실험진행과정에서 따뜻한 배려와 관심으로 애로점을 찾아 고쳐주셨던 제주대학교 해양과환경연구소의 고성대 선생님과 강태연, 김명학, 김봉길 선생님께 감사를 드립니다.

마지막으로 어머님께 감사드리며 혜영, 선영에게 고마운 마음을 전합니다.