



사육수온과 밀도가 홍민어 *Sciaenops ocellatus*의 성장에 미치는 영향

최영웅* · 노 섭 · 이영돈¹

제주대학교 수산생물학과 · ¹제주대학교 해양과환경연구소

Effect of Water Temperature and Stocking Density on Growth of Juvenile Red Drum *Sciaenops ocellatus*

Young-Ung Choi*, Sum Rho and Young-Don Lee¹

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

¹Marine and Environment Research Institute, Cheju National University, Jeju 695-810, Korea

Fed on commercial flounder diet at 20, 23 and 26°C in semiclosed culture system for 32 weeks, the juvenile red drum (1.2 g) showed linear increase in daily feeding rate (DFR), growth (g/fish) and specific growth rate (SGR) with increasing temperature. In the second experimental series, the young red drum (214 g), cultured at densities of 2.16, 4.24 and 6.40 kg/m³ in flow-through tanks at water temperatures from 12.3 to 27.2°C for 25 weeks, grew faster at the stocking density of 2.16 kg/m³ than at the densities of 4.24 and 6.40 kg/m³; the difference in growth observed at the stocking densities of 4.24 and 6.40 kg/m³ was not significant. The DFR and SGR were also significantly higher for the density group of 2.16 kg/m³. Briefly, growth of the red drum increased with increasing tested range of temperature and was also faster with decreasing stocking density. However, the total growth (g/tank) increased with increasing stocking density.

Key words: Red drum, Growth, Specific growth rate, Daily feeding rate

서 론

홍민어, *Sciaenops ocellatus*는 농어목(Order Perciformes), 민어과(Family Sciaenidae), 민어속(Genus *Sciaenops*)에 속하는(Nelson, 1994) 온대성 어종으로 대서양 연안과 멕시코만의 기수, 해수역 부근에 서식하며, 멕시코만에서는 유어용 낚시와 상업적 양식에서 중요한 어종이다(Matlock, 1986). 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). 산란은 주로 광 조건과 수온에 의해 조절되는 것으로 알려져 있고(Arnold, 1988) 멕시코만 연근해역에서 9월부터 11월 사이에 이루어진다(Comyns et al., 1991). 성숙한 암컷개체는 산란기 동안 1회 이상의 산란을 하고 보통 11~14 kg 되는 암컷 개체는 1~3 백만개의 알을 낳는다(Colura et al., 1991). 산란 후 알과 치어는 조석에 의해 강 하구 부근으로 이동을 하여 6~8 mm에 이를 때까지 머물다가 그 후 성장하면서 먹이와 은신처를 제공받을 수 있는 해조 군락지로 이동하여 정착한다(Rooker and Holt, 1997). 실험실

*Corresponding author : besthero@cheju.ac.kr

조건에서 홍민어의 초기산란은 19.5 개월의 2.9 kg개체에
서 이루지는 것이 관찰되었지만(Arnold, 1991) 자연에서
는 성숙이 늦어서 3~5년 걸린다(Matlock, 1987).

홍민어는 염분에 대한 내성이 강하며 성장이 빠른 어종
으로 1970년대 중반부터 대서양 연안에서 상업적 양식이
시작되어 산란과 치어 사육 기술이 발전되어 왔다(Lasswell
et al., 1977). 미국에서는 1980년대 중반부터 산업화가 되
어 양식 생산량은 지속적으로 증가하였고(Parker, 1993),
현재 이들 종의 양식에 적합한 환경과 영양학적인 연구가
진행되고 있다. 이스라엘의 경우 홍민어에 대한 양식의
시도는 1990년대 초 미국으로부터 알과 자치어를 이식하
면서 시작되어 최근에는 지중해와 이스라엘의 홍해 연안
에서 생산량이 지속적으로 증가하고 있고(Kissil, 1996) 높
은 시장 가격이 형성되어 지중해 연안국으로 파급이 기대
되고 있다.

이와 같이 홍민어는 광온성, 광염성으로서 성장이 빠르
고 환경적응력이 높아 양식개발 대상 어종으로써 갖추어
야 할 조건을 잘 구비하고 있어 양식 품종의 다양화가 시
급한 우리나라 해수어류양식 현황을 감안할 때 개발가치
가 높은 어류라고 생각된다. 우리나라에서는 1999년부터
홍민어의 종묘가 이식되어 시험 양식되고 있지만 적정 사
육환경에 대한 연구는 미흡한 상태이다.

이 연구에서는 홍민어의 국내 양식기술 개발을 목적으
로 그 기초가 되는 적합한 사육환경을 구명하기 위해 수
온과 사육밀도를 달리한 조건에서 홍민어의 성장과 생존
율, 사료효율 등을 비교하였다.

재료 및 방법

사육방법

홍민어의 수온에 따른 성장차이를 조사한 1차 실험과,
사육밀도를 달리하여 성장차이를 조사한 2차 실험으로 나
누어 2 반복으로 실시하였다. 수온에 따른 성장실험에 사
용된 홍민어 치어는 전남 여수시에 있는 경양종묘배양장
에서 시험 생산한 평균 전장이 4.6 ± 0.3 cm, 체중 1.2 ± 0.6
g되는 것으로서 2,000마리를 시험사육 한 후 1,200마리를
대상으로 실험하였다. 실험수조는 모서리를 둥글게 만든
FRP (fiberglass reinforced plastics) 사각수조(1.5×1.5×
0.9 m)로 3개를 1조로 하여 사육조 A는 중앙배수구를 통
하여 침전조 B와 연결시킨 후 B수조의 중층에 air lift를
설치하여 하루에 6~7회 사육조 A의 물을 순환시켰다. 물

의 교환은 3~4일 간격으로 저수조 C에서 미리 사육조의
수온과 동일하게 가온 여과한 물을 사용하였다(Fig. 1). 수
온은 electronic thermostat (DAC-302H, Korea)를 이용하
여 $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 그리고 $26 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 조절하여
1999년 11월 13일부터 2000년 6월 26일 까지 총 32주 동
안 실시하였다. 사육밀도에 따른 성장 실험에 사용된 홍
민어는 평균 전장이 26.6 ± 1.7 cm, 체중 213.6 ± 46.7 g 되는
개체를 이용해서 2.16 kg body weight (BW)/ m^3 , 4.24 kg
BW/ m^3 그리고 6.40 kg BW/ m^3 로 각각 20미, 40미, 60미
를 수용하였고 사육은 우수식으로 모래 여과한 자연해수
를 20~22회전/일이 되도록 유지하면서 2000년 8월 13일
부터 2001년 1월 31일 까지 25주 동안 실시하였다.

사료공급

실험에 사용한 넵치육성용 배합사료는 고압팽창사료
(extruded pellet, 우성사료주식회사)를 이용하였고 어체
가 성장함에 따라 사료의 크기를 조정하여 공급하였다.
먹이 공급은 1일 3회 08:00, 12:00 그리고 17:00에 공급
하였다. 사료공급량은 매일 반복으로 공급하였다.

성장도 측정

실험어는 4주 간격으로 어체 측정을 실시하였다. 어체

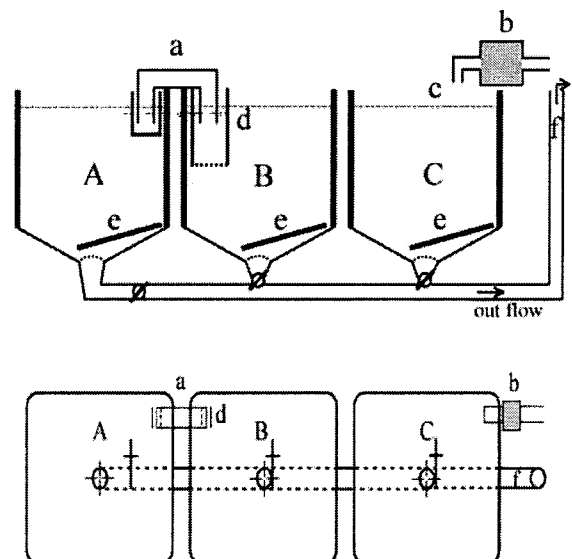


Fig. 1. Schematic diagram of the rearing tanks used in the experiment I and II.

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.

측정 전에 24시간동안 절식시킨 후 MS-222 (Sigma, USA) 50 ppm으로 마취하여 전장은 1 mm까지, 체중은 전자저울 (Sartorius, BP 8100, USA)로 0.1 g까지 측정하였다. 측정 후에는 실험어를 Hydrogen Chlorine-Oxytetracycline 50 ppm으로 1 시간 약육하였다.

측정자료는 Ricker (1969)의 방법에 따라 일간성장률 (specific growth rate)을 구하였고, 일간섭식율(daily feeding rate), 사료계수(feed coefficient)와 비만도(condition factor)는 아래의 식으로 구하여 실험구간의 차이를 비교하였다.

$$\text{Specific growth rate (SGR)} = \ln(W_1 - W_0) / T \times 100$$

$$\text{Daily feeding rate (DFR)} = (TFI \times 100) / \{(W_1 + W_0 + DW) \times \text{day fed} / 2\} \times 100$$

$$\text{Feed coefficient (FC)} = TFI / WG$$

$$\text{Condition factor (CF)} = BW / TL^3 \times 100$$

W₀: initial body weight W₁: final body weight T: rearing time TFI: total feed intake DW: dead fish body weight WG: weight gain BW: body weight TL: total length

사육환경 측정

실험기간 중 수온, 용존산소(dissolved oxygen, DO), pH, 염분은 매일 오전 10시에 측정하였으며, DO는 DO meter (DO-14P, Japan), pH는 pH meter (HM-12P, Japan), 염분은 광학염분계(Atago, Japan)를 사용하였다.

통계분석

실험결과와 분석은 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였으며 사육기간과 체중성장과의 관계식 및 사육 밀도와 체중간의 관계식은 Statistical Analysis (SAS Institute North Carolina, version 6.12, USA)로 직선 회귀 분석을 하였다.

결 과

사육환경

수온에 따른 성장 실험기간 동안 실험구의 염분은 33.5 ~ 35.0‰의 범위였다. 사육수의 DO는 8.4 ~ 6.7 ml/L였고, pH의 변화는 8.1 ~ 7.2 범위였고, 사육밀도에 따른 성장 실험기간 동안 실험구의 수온은 27.2 ~ 12.3℃로 9월말 이

후 점차적으로 하강하였다. 염분은 31.0 ~ 35.0‰의 범위로 10월 이후 34‰ 이상으로 증가하였다. 사육수의 DO는 6.5 ~ 8.2 ml/L였고, pH는 변화는 7.5 ~ 8.3 범위였다.

성장 및 생존율

1999년 11월 13일부터 2000년 6월 26일 까지 32주간 수온별 홍민어의 성장은 Fig. 2와 같다. 실험 시작시 평균 전장은 4.6 ± 0.3 cm이었으며, 실험 종료시에 20, 23 그리고 26℃에서 20.6 ± 2.1, 22.5 ± 2.2, 33.4 ± 2.8 cm로 성장하여 수온이 낮을수록 성장이 느렸다(Fig. 2, Table 1, P < 0.05).

사육기간에 따른 각 실험구의 체중성장 관계식은

$$20^\circ\text{C} : Y = 1.654X^2 - 4.315X + 6.8912 \quad (r^2 = 0.9901, P < 0.01)$$

$$23^\circ\text{C} : Y = 1.924X^2 - 2.448X + 3.6548 \quad (r^2 = 0.9853, P < 0.01)$$

$$26^\circ\text{C} : Y = 8.661X^2 - 34.78X + 38.569 \quad (r^2 = 0.9956, P < 0.01)$$

이었다.

실험 시작시 평균 체중은 1.2 ± 0.3 g이었으며, 실험 종료시에는 20, 23 그리고 26℃에서 각각 104.8 ± 29.9, 132.9 ± 31.4, 426.6 ± 82.1 g으로 성장하여 실험구간의 성장은 전장과 같은 경향이였다(Fig. 2, Table 1, P < 0.05).

총중량(total weight gain, g/tank)은 실험 종료시 20, 23 그리고 26℃에서 각각 24,618.0, 44,665.6, 130,704.2 g이었고, 생존율은 실험 종료시 20, 23 그리고 26℃에서 각각 52.5, 81.8%와 76.5%이었다(Table 1).

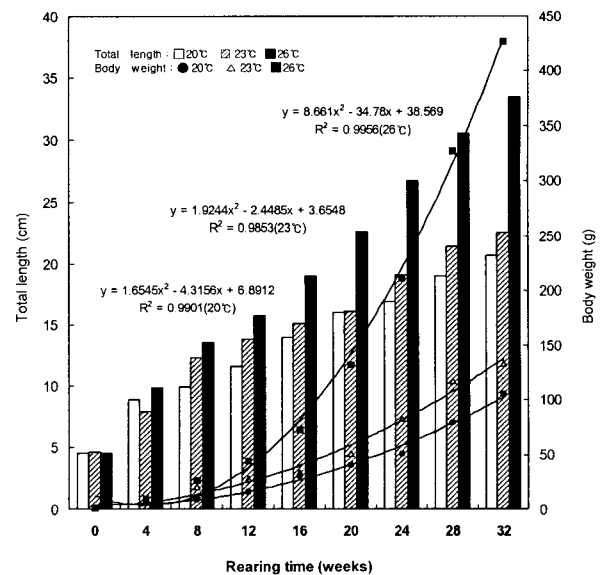


Fig. 2. Effect of water temperature on total length and body weight of the red drum *S. ocellatus* as function of rearing period.

Table 1. Effect of water temperature on growth, total weight gain and survival of the red drum *S. ocellatus*

Water temperature (°C)	Initial			Final			Growth (g/fish)	Total weight gain (g/tank)	Survival (%)
	Density (No.)	Total length (cm)	Body weight (g)	Density (No.)	Total length (cm)	Body weight (g)			
20	400	4.6 ± 0.2 ^a	1.2 ± 0.2 ^a	210	20.6 ± 2.1 ^c	104.8 ± 29.9 ^c	103.6	24,618.4	52.5
23	400	4.7 ± 0.3 ^a	1.1 ± 0.2 ^a	327	22.5 ± 2.2 ^b	132.9 ± 31.4 ^b	131.8	44,665.6	81.8
26	400	4.6 ± 0.3 ^a	1.2 ± 0.2 ^a	306	33.4 ± 2.8 ^a	426.6 ± 82.1 ^a	425.4	130,704.2	76.5

Values (mean ± SD) with different superscript letters in the same column are significantly different (P < 0.05).

2000년 8월 13일부터 2001년 1월 31일까지 25주간 사육 밀도별 홍민어의 성장은 Fig. 3과 같다. 실험 시작시 평균 전장은 26.7 ± 0.7 cm이었으며, 실험 종료시 사육밀도 2.16 kg BW/m³, 4.24 kg BW/m³ 그리고 6.40 kg BW/m³에서 각각 37.5 ± 2.4, 37.3 ± 2.1, 36.5 ± 1.8 cm로 성장하여 사육밀도 2.16 kg BW/m³ 와 4.24 kg BW/m³에서는 사육밀도 6.40 kg BW/m³보다 높은 성장을 하였다(Fig. 3, Table 2, 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 g으로 성장하여, 사육밀도 2.16 kg BW/m³에서는 사육밀도 4.24 kg BW/m³ 과 6.40 kg BW/m³보다 빨리 성장하였고 사육밀도는 각각 7.26 kg BW/m³, 14.01 kg BW/m³

그리고 19.17 kg BW/m³으로 증가하였다(Fig. 3, Table 2, P < 0.05). 사육기간에 따른 사육밀도별 각 실험구의 체중 성장 관계식은

$$2.16 \text{ kg BW/m}^3 : Y = -20.079X^2 + 243.98X - 1.02 \quad (r^2 = 0.9981, P < 0.01)$$

$$4.24 \text{ kg BW/m}^3 : Y = -18.504X^2 + 224.17X + 15.6 \quad (r^2 = 0.9969, P < 0.01)$$

$$6.40 \text{ kg BW/m}^3 : Y = -17.845X^2 + 211.55X + 30.2 \quad (r^2 = 0.9947, P < 0.01)$$

총증중량(total weight gain, g/tank)은 실험 종료시 사육밀도 2.16 kg BW/m³, 4.24 kg BW/m³ 그리고 6.40 kg BW/m³에서 각각 20,935.4, 39,084.4, 52,626.3 g이었고, 생존율은 실험 종료시 사육밀도 2.16 kg BW/m³, 4.24 kg BW/m³ 그리고 6.40 kg BW/m³에서 각각 97.5%, 100% 와 95.8%로 전 실험구에서 생존율이 높았다(Table 2).

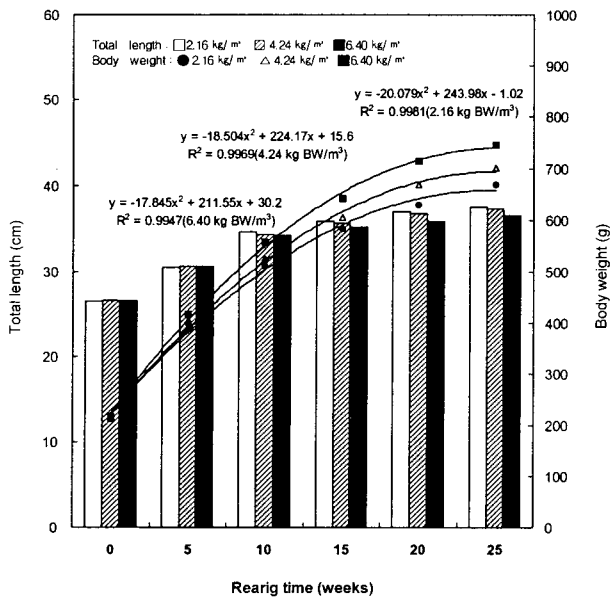


Fig. 3. Effect of stocking density on total length and body weight of the red drum as function of rearing period.

사료계수, 일간성장률, 일간섭식을 및 비만도

수은 실험기간 동안의 사료계수(feed coefficient), 일간 성장률(specific growth rate), 일간섭식율(daily feeding rate) 및 비만도(condition factor)는 Table 3과 같다. 사료 계수와 비만도에서 실험구간의 유의차는 없었다(P > 0.05). 일간성장률은 20, 23 그리고 26°C에서 각각 1.78 ± 0.02, 2.07 ± 0.03, 2.48 ± 0.08%이었고 일간섭식율은 각각 0.87 ± 0.07, 1.36 ± 0.66, 4.59 ± 0.81%로 수온이 높을수록 높은 값을 나타내었다(P < 0.05).

밀도 실험기간 동안의 사료계수, 일간성장률, 일간섭식 율 및 비만도는 Table 4와 같다. 사료계수는 2.16 kg/m³, 4.24 kg/m³ 그리고 6.40 kg/m³에서 각각 1.56 ± 0.34, 1.36 ± 0.02, 1.42 ± 0.07 로 2.16 kg/m³의 효율이 가장 낮았다 (P < 0.05). 일간성장률은 사육밀도 2.16 kg/m³, 4.24 kg/m³ 그리고 6.40 kg/m³에서 각각 0.72 ± 0.02, 0.70 ± 0.01, 0.65 ± 0.01%이었고 일간섭식율은 각각 0.97 ± 0.08, 0.83 ± 0.02,

Table 2. Effect of stocking density on growth, total weight gain and survival of the red drum

Stocking density (kg/m ³)	Initial			Final			Growth (g/fish)	Total weight gain (g/tank)	Survival (%)
	Density (No.)	Total length (cm)	Body weight (g)	Density (No.)	Total length (cm)	Body weight (g)			
2.16	40	26.6±1.7 ^a	215.6±50.4 ^a	39	37.5±2.4 ^a	744.8±155.7 ^a	529.2	20,935.4	97.5
4.24	80	26.7±1.8 ^a	211.9±47.6 ^a	80	37.3±2.1 ^a	700.5±127.2 ^b	488.6	39,084.4	100
6.40	120	26.6±1.7 ^a	213.2±42.1 ^a	115	36.5±1.7 ^b	667.0±116.2 ^b	453.8	52,626.3	95.8

Values (mean±SD) with different superscript letters in the same column are significantly different (P<0.05).

Table 3. Effect of water temperature on feed coefficient, specific growth rate, daily feeding rate and condition factor of the red drum

Water temperature (°C)	Feed coefficient	Specific growth rate (%)	Daily feeding rate (%)	Condition factor
20	1.02±0.08 ^a	1.78±0.02 ^c	0.87±0.07 ^b	12.20±0.78 ^a
23	1.05±0.02 ^a	2.07±0.03 ^b	1.36±0.66 ^b	11.67±1.01 ^a
26	0.95±0.01 ^a	2.48±0.08 ^a	4.59±0.81 ^a	11.35±0.7 ^b

Values (mean±SD) with different superscript letters in the same column are significantly different (P<0.05).

Table 4. Effect of stocking density on feed coefficient, specific growth rate, daily feeding rate and condition factor of the red drum

Stocking density (kg BW/m ³)	Feed coefficient	Specific growth rate (%)	Daily feeding rate (%)	Condition factor
2.16	1.56±0.34 ^a	0.72±0.02 ^a	0.97±0.08 ^a	14.01±1.44 ^a
4.24	1.35±0.02 ^b	0.70±0.01 ^{ab}	0.83±0.02 ^b	13.42±1.15 ^a
6.40	1.42±0.07 ^c	0.65±0.02 ^b	0.81±0.01 ^c	13.76±2.00 ^b

Values (mean±SD) with different superscript letters in the same column are significantly different (P<0.05).

0.81±0.01%로 사육밀도가 낮을수록 높았다(P<0.05). 비만도에서는 실험구간에 유의차는 없었다(P>0.05).

고찰

어류의 성장에 관여하는 요소로서는 유전적 요인, 성장 호르몬, 갑상선 호르몬, 성호르몬, 인슐린 등의 몇 가지 호르몬을 비롯한 내적 요인과 먹이, 사육밀도 등의 생물적 요인을 포함하여 수온, 염분, 수질요인 등의 외적요인으로 나눌 수 있다. 이 중에서도 수온은 먹이와 같이 물고기의 성장과 발육을 지배하는 중요한 요인으로 어류의 섭식욕구에 직접적인 영향을 준다(隆島·羽生, 1989). 어류의 성장은 소화, 흡수, 물질대사와 배설의 복합적인 생리적 작용의 결과이며(Brett, 1979), 어류의 생리적 기능은 수온의 영향에 의한 효소활성으로 조절된다(Pelletier et al., 1995). 이처럼 수온은 어류의 성장을 제어하는 주 요인으로 작용을 하므로 새로운 양식 대상종에 대한 사육개발과정에서 최적 사육환경 측면을 구명해야 할 중요한 환경적 요인으

로서 많은 연구가 진행되어 왔다.

어류는 어종에 따라 성장에 적합한 수온이 있고 적정 수온의 범위 내에서 수온이 높을수록 성장률이 높아지고 한계수온에 이르면 저하된다. 난류성 어종인 붉은 쏨뱅이 *Sebastes tertius* 치어의 경우 23°C에서 최대성장이 유도되었으나 26°C이상의 고수온에서는 섭식과 성장이 저하되었다(김 등, 1999). 그러나 저수온에서 잘 자라는 브라운 송어 *Salmo trutta*는 16~17°C에서 가장 빠른 성장을 하지만(Ojanguren et al., 2001) 장갱이 *Stichaeus grigorjewi*는 16.9°C 이상의 수온에서는 성장과 생존율이 낮아진다(이와 조, 1997).

자연에서 홍민어는 수온 10~32°C에서 생존 가능한 광온성 어류이며 적정 서식 수온은 23~28°C인데 비하여 10°C 이하가 되면 생존율이 떨어지고 5°C이하에서는 전멸한다(국립수산진흥원, 2001). 이 실험에서 홍민어는 사육수온 26°C 실험구에서 빠르게 성장하였고, 20°C 실험구에서 성장률과 섭식율이 가장 낮았다. 어류의 성장에 가장 큰 영향을 주는 수온은 종 특유의 호적수온을 가지고

있으므로 한류계인 브라운송어나 장갱이류와 비교가 될 수 없으나 붉은 쏘뱅이(김 등, 1999)와 비교하여 볼 때 홍민어는 고수온에서 성장이 빠른 어종이라고 생각된다. 자연에서도 홍민어 성어는 성장이 빨라 체장 66 cm의 홍민어를 표지 방류하여 8개월 후에 조사한 결과 체장 86 cm로 1개월에 평균 2.5 cm의 성장을 보였다(국립수산진흥원, 2001). 이 실험에서 적수온으로 판단된 사육수온 26°C 실험구의 성장은 시작 당시인 11월에 전장 4.6 cm에서 실험 종료시인 6월에 33.4 cm로 8개월 동안 28.8 cm 성장하여 월간 평균성장은 3.6 cm로서 자연에서 성어의 성장에 비교될 수 있을 만큼 성장이 빠른 어종으로서 양식 개발 대상으로 좋은 조건이라고 생각된다.

수온은 어류의 사육적은 범위에서 대사과정에 영향을 주는 중요한 요인으로 수온이 높을수록 체내의 대사가 빠르게 진행되고 먹이 요구량이 증가된다(Murry, 1971). 넙치의 경우 사육 적수온인 18~25°C의 범위에서 수온이 높을수록 섭식량이 많아지며, 소화관내 먹이의 이동속도도 빠르게 진행된다(田村, 1974). 또한 넙치 치어의 경우에도 19~21°C, 24~25°C의 두 수온범위의 섭식을 비교에서 24~25°C가 섭식율이 높았다(元 등, 1988). 이 실험에서 홍민어는 20, 23 그리고 26°C에서 일간성장률은 각각 1.78 ± 0.02 , 2.07 ± 0.03 , $2.48 \pm 0.08\%$ 였고 일간섭식율은 각각 0.87 ± 0.07 , 1.36 ± 0.66 , $4.59 \pm 0.81\%$ 로 수온이 높을수록 섭식율과 성장률이 높게 나타나 넙치(田村, 1974; 元 등, 1988)의 경우와 비슷하였다. 생존율은 사육수온 20, 23 그리고 26°C 실험구에서 각각 52.5, 81.8, 76.5%로, 실험 4주 동안 사육초기의 대량 폐사로 낮았다. 이것은 치어의 운송과정 중의 스트레스에 의한 것으로 생각된다.

어류의 성장에 관여하는 외적 요인으로서 사육밀도는 개체들간의 먹이 경쟁과 공간 경쟁에 직접적인 관계로 성장에 영향을 미친다(Brett, 1979). 양식의 생산비용 절감을 위하여 한정된 공간에서 어류의 사육밀도를 최대한 하면서 적정 성장을 유지시키는 것이 경영적 측면에서 매우 중요한 요인으로 성장에 사육밀도가 미치는 영향에 대하여 많은 어종을 대상으로 검토되어 왔다. 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). 그러나 넙치의 경우 수조 바닥면적의 4배 이상까지 치어를

수용하여도 성장과 생존에 지장이 없어 고밀도 사육이 가능하다고 한다(張과 柳, 1988). 이 연구에서 홍민어의 치어를 2.16, 4.24 그리고 6.40 kg BW/m³의 밀도로 조절하여 25주 동안 사육한 결과 2.16 kg BW/m³에서 가장 빠르게 성장하였으며 사육밀도가 증가함에 따라 성장은 저하되었으나 총증중량에서는 고밀도구에서 높게 나타나 Hengsawat (1997)의 보고와 유사였다. 일간섭식율과 일간성장률은 2.16, 4.24, 6.40 kg BW/m³에서 각각 0.72 ± 0.02 , 0.70 ± 0.01 , $0.65 \pm 0.02\%$ 그리고 0.97 ± 0.08 , 0.83 ± 0.02 , $0.81 \pm 0.01\%$ 으로 사육밀도가 증가함에 따라 감소하는 경향이였다. 그러나 대서양 연어 *Salmo solar*의 경우 35~45, 65~85 그리고 100~125 kg BW/m³로 나누어 사육한 결과 성장의 차이가 없었고(Kjartansson et al., 1988), *Salvelinus alpinus*는 40~50 kg/m³까지 고밀도로 사육하였을 때 성장이 빨랐다(Baker and Ayles, 1990). 이 연구에서 실험 시작시 2.16 kg BW/m³, 4.24 kg BW/m³ 와 6.40 kg BW/m³의 사육밀도는 어체 성장에 따른 증가로 실험 종료시에 증중량이 각각 5.10 kg, 9.77 kg 그리고 12.76 kg으로 사육밀도가 각각 7.26, 14.01, 19.17 kg/m³로 증가하였고 실험 시작시 실험구 6.40 kg BW/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 사육 실험기간 동안 2.16, 4.24 그리고 6.40 kg BW/m³에서의 생존율은 각각 97.5, 100 그리고 95.8%로 가재 *Orconectes virilis* (Brown et al., 1995)와 같이 사육밀도가 높아짐에 따라 성장이 급격하게 감소하거나, 대서양산 연어(Refstie and Kittelsen, 1976)와 같이 사육밀도가 낮아짐에 따라 폐사율이 증가하는 치사한계 밀도는 관찰되지 않았다.

이상의 결과에서 홍민어는 수온 26°C 실험구에서 가장 빠르게 성장하였고, 사육밀도에 따른 실험결과에서 최저 사육밀도 2.16 kg BW/m³에서 가장 빠른 성장하였으나, 6.40 kg BW/m³에서 생산성이 가장 높게 나타났으며, 실험종료 1개월 전 사육밀도 18.07 kg/m³로 증가된 사육밀도는 홍민어의 성장에 있어서 적정 사육밀도 범위에 포함되는 것으로 판단된다. 그러나 최적의 사육환경을 구명하기 위해서 실시하였던 사육밀도 실험에서 대규모의 수량

을 일정온도로 유지할 수 있는 실험시설의 미비로 인하여 성장 적수온 범위에서 성장조사가 수행되지 못하였던 것이 아쉬웠던 점이었으므로 금후 생산성과 최대 성장유도를 고려한 적정 사육밀도에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것으로 생각된다.

요 약

수온과 사육밀도에 따른 홍민어의 성장을 조사하기 위하여 20±0.5, 23±0.5 그리고 26±0.5℃로 각각 조절한 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 BW/m³로 조절하여 25주 동안 사육하였다. 수온에 따른 성장실험에서 전장, 체중, 일간 성장률에서 26℃, 23℃, 20℃ 순으로 수온이 높을수록 빠른 성장을 하였다. 일간섭식율에서도 26℃에서 가장 높아 수온이 높을수록 높은 값을 나타내었다(P<0.05). 사육밀도에 따른 성장실험에서 전장, 체중, 일간성장률에서 저밀도 실험구에서 높은 값을 나타내었고 일간섭식율에서도 같은 경향이었으며(P<0.05), 실험 시작시 2.16 kg BW/m³, 4.24 kg BW/m³ 그리고 6.40 kg BW/m³의 사육밀도는 실험 종료시 각각 7.26 kg BW/m³, 14.01 kg BW/m³, 19.17 kg BW/m³로 증가하여 6.40 kg/m³에서 생산성이 가장 높았다.

감사의 글

이 연구는 제주대학교 BK21사업의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

Arnold, C. R., 1988. Controlled year-round spawning of red drum, *Sciaenops ocellatus* in captivity. Cont. Mar. Sci., 30 : 65-70
 Arnold, C. R., 1991. Precocious spawning of red drum. Prog. Fish Cult., 53 : 50-51.
 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.
 Brett, J. R., 1979. Environmental factors and growth. pp. 599-675. (in) Fish Physiology, Vol. VIII, (eds.)

Hoar, W. S., D. J. Randall and J. R. Brett. Academic Press, New York, U.S.A.
 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.
 Colura, R. L., A. H. Arzapalo and A. F. Maciorowski, 1991. Culture of red drum. pp. 149-166. (in) Handbook of Mariculture, Vol. II. Finfish Aquaculture, (ed.) J. P. McVey. CRC Press, U.S.A.
 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 Natl. mar Fish. Serv. Tech. Rep., US Dept. Commerce, 95 : 392-402.
 Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple range test. Biometrics, 11:1-42.
 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.
 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.
 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.
 Llanso, R. J., S. S. Bell and F. E. Vose, 1998. Food habits of red drum and spotted sea trout in a re-stored mangrove impoundment. Estuaries, 21: 294-306.
 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. pp. 1-47. (in) Manual on Red drum Aquaculture. Texas Agricultural Extension Service and Sea Grant College program, (eds.) Chamberlain, G. W., R. J. Miget and Haby, M. G. Texas A&M University, College Station, Texas.
 Murry, R. W., 1971. Temperature receptors. pp. 121-133. (in) Fish Physiology, Vol. V, (eds.) Hoar, W. S. and D. J. Randall. Academic Press, New York, U.S.A.
 Nelson, J. S., 1994. Fishes of the world. Wiley and

- Sons. Inc. New York. 600 pp.
- 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 Biol.*, 26 : 165-170.
- 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.
- 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 sub-tropical sea grass meadows by newly settled red drum (*Sciaenops ocellatus*): patterns of distribution and growth. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 158 : 139-149.
- 隆島史夫 · 羽生 功, 1989. 水族繁殖學, 水産養殖學講座 第4卷. pp. 268-269.
- 田村 保, 1974. 魚類生理學概論. 恒星社. 72 pp.
- 국립수산진흥원, 2001. 양식대상 외래종의 생태. 구덕인쇄출판사. pp. 22-45
- 김광수 · 임상구 · 김철원 · 허성범, 1999. 수온, 자어밀도 및 먹이공급량이 붉은 썸뱅이, *Sebastiscus tertitus* 자어의 성장과 생존율. *한국양식학회지*. 12(3) : 213-220.
- 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.

(접수 : 2002년 4월 8일, 수리 : 2002년 6월 10일)