

## 순환여과시스템에서 사육밀도와 용존산소 농도가 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*)의 성장과 혈액성상에 미치는 영향

김병기\*

강원도립대학 해양생명과학과

### Effects of Stocking Density and Dissolved Oxygen Concentration on the Growth and Hematology of the Parrotfish *Oplegnathus fasciatus* in a Recirculating Aquaculture System (RAS)

Pyong Kih Kim\*

Department of Marine Bio-Science, Gangwon Provincial College, Gangneung 210-804, Korea

The parrotfish *Oplegnathus fasciatus* is a sub-tropical species that is difficult to culture during the winter in South Korea. As a result, a recirculating aquaculture system (RAS) was developed to rear parrotfish. This study investigated the effects of stocking density and dissolved oxygen (DO) concentration on the growth and hematology of the parrotfish in the RAS. The experimental stocking densities were 5 (SD05), 10 (SD10), 15 (SD15), and 20 kg/m<sup>3</sup> (SD20) total body weight to tank water volume. As the stocking density increased, the mean weight gain, feed efficiency, and specific growth rate tended to decrease. However, SD10 and SD15 did not differ statistically from SD05 in feed efficiency ( $P>0.05$ ). Although better growth was achieved in SD05, SD10 and SD15 appeared to be acceptable, practically and economically, in terms of feed efficiency. The experimental DO concentration ranges were 3-4 (DO3), 5-6 (DO5), and 7-8 mg/L (DO7). The mean weight gain and survival tended to increase with the DO concentration, but there were no differences among treatments ( $P>0.05$ ). Although the feed efficiency did not differ among the treatments, the specific growth rates and daily feed intake increased with the DO concentration and were the highest in DO7 ( $P<0.05$ ). The cortisol concentration was the highest in DO3 ( $P<0.05$ ), while there was no difference between DO5 and DO7 ( $P>0.05$ ).

Key words : Parrotfish, Recirculating aquaculture system (RAS), Stocking density, DO concentration

## 서 론

돌돔은 1987년 종묘생산 기술이 개발된 후 꾸준히 양식생산량이 증가하여 2008년에는 406톤을 생산하였고, 2009년에는 913톤을 생산하였다(Statistics Korea, 2009). 그러나 돌돔은 남해안의 해상가두리와 육상수조식으로 주로 양식하고 있는데, 겨울철 낮은 수온으로 인한 월동의 어려움, 기생충 및 바이러스성 질병의 문제 등으로 생존율이 극히 낮은 문제점을 가지고 있다(Kang et al., 1998; Oh et al., 2006).

국내 해산어류양식은 넙치와 조피볼락이 주 어종으로 자리 잡고 있어 소비촉진을 위해서는 다양한 어종의 생산과 유통이 필요한 실정이다. 돌돔은 대표적인 온수성어류로 적정 수온이 20℃ 이상 되기 때문에 긴 겨울을 가진 우리나라의 양식환경과는 다소 맞지 않는 것이 현실이나 비교적 고가로 거래되는 양식 품종이어서 경쟁력이 있다(Kang et al., 1998). 일부에서는 생산

성을 높이기 위하여 광주기와 수온 조절로 2-3월에 조기 종묘를 생산하고, 당년 12월에 상품을 생산하는 방법이 모색된 바 있으나(Jeong et al., 1998), 월동기간에 사육이 가능한 적정시스템을 개발하는 등의 획기적인 생산성 향상 방안이 모색될 필요가 있다(Kim et al., 2003).

순환여과시스템(RAS)은 환경으로부터 독립된 상태로 운전이 가능하여 외부로부터 유입되는 질병의 감염원을 원천적으로 차단할 수 있으며, 다양한 수처리 시설을 이용하여 물을 지속적으로 재처리 할 수 있어 에너지를 매우 효율적으로 사용할 수 있다(Suh et al., 2001). 나아가 긴 동절기에도 적수온을 맞추어 주거나 성장을 지속시킬 수 있는 시스템이어서 돌돔의 양성에 매우 적합한 시스템이다. 하지만 결국 해수환경에서 경제성을 갖추기 위해서는 고밀도로 양성이 이루어져야 하고, 이에 따라 수반되는 용존산소의 이용성이 제한요인이 된다.

따라서 본 연구에서는 돌돔을 대상으로 동절기 동안 순환여과시스템으로 운전함에 있어 고밀도양식의 가능성과 산업성을 파악하기 위하여 사육밀도와 용존산소 농도에 따른 성장과 혈액

\*Corresponding author: pkkim@gw.ac.kr

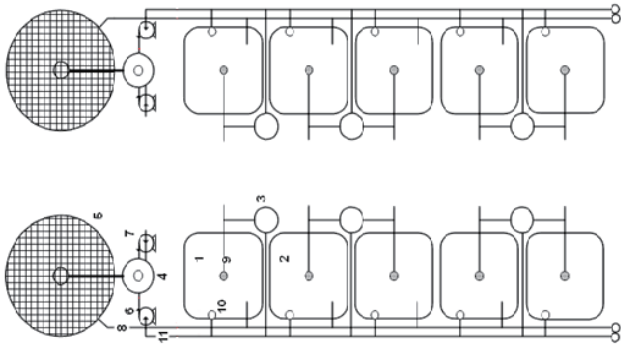


Fig. 1. Experimental recirculating aquaculture system. 1: sump, 2: culture tank, 3: settling chamber, 4: foam fractionators, 5: trickling biofilter, 6: circulation pump, 7: venturi pump for foam fractionators, 8: outlet pipe, 9: drain pipe, 10: circulation pipe, 11: inlet pipe.

학적 특성을 연구하였다.

## 재료 및 방법

### 사육시스템

동일한 규격의 독립된 2개의 순환여과사육시스템을 활용하였다(Fig. 1). 사각형 사육 수조(1.0 m (L)×1.0 m (W)×1.0 m (D), 수량 600 L) 4개, 사육수조와 동일한 규격의 저수조 1개, 침전조(0.6 m (D)×1.0 m (H)) 3개, 포말분리기(0.3 m (D)×2.5 m (H)) 1개, 미세비드 생물막 여과조(1.5 m (D)×2.0 m (H)) 1개, 순환펌프(0.75 kW) 1개, 벤츄리 펌프(0.75 kW) 1개로 구성된 순환여과사육시스템을 이용하였으며, 총 수량은 약 4,500 L 이었다. 사육조와 침전조에서 보낸 사육수는 포말분리기를 거쳐 생물막 여과조로 그리고 다시 사육 수조로 유입되었다. 사육 수조의 중앙 배수구를 통해 집적된 침전조의 고형물은 1일 2회 제거하였고, 침전조의 수리학적 체류시간은 약 8분이었다. 포말분리기는 count-current 형태로 운전하였으며, 공기는 가압펌프와 벤츄리를 이용하여 주입하였다. 포말분리기의 수리학적 체류시간은 약 1.2분이었고, 에어주입 상태에서 수표면과 포말 배출구의 간격은 약 30 cm가 되도록 일정하게 조절하였다. 생물막 여과조는 직경 약 1.5 mm 크기의 미세비드를 이용하였으며, 용적을 약 600 L로 조절하여 살수식으로 운전하였다. 보충수는 일간 전체 수량의 약 5-10%로 하였고, 사육 수온은 전기히터로 20-21℃를 유지하였다.

### 사육밀도 실험

경상남도 통영의 가두리에서 사육중인 약 28 g의 돌돔을 구입하여 실험에 이용하였다. 사육밀도는 5 (SD05), 10 (SD10), 15 (SD15) 및 20 kg/m<sup>3</sup> (SD20)로 2반복으로 입식하였고, 45일간 해산어류용 상품 사료(조단백질 43.5±0.6%, 조지질 11.8±0.1%)를 일간 2회(09:00, 17:00) 반복 공급하였다. 용존산소

(DO) 공급은 산소발생기(OXUS Aqua-15L)를 이용하였고, 수질측정은 다항목수질측정기(YSI 556MPS, USA)와 분광광도계(HACH DR 4000U, USA)를 이용하였다. 실험기간 동안 수온은 20.3±0.4℃, pH는 7.7±0.1, 염분도는 34.3±0.4 psu, DO는 11.2±1.2 mg/L로 유지하였으며, 암모니아는 0.43±0.13 mg/L, 아질산은 0.25±0.04 mg/L, 질산은 15.84±1.36 mg/L 수준이었다.

45일 후 밀도별로 돌돔의 무게를 계측하고, 각 실험구별로 10마리씩 총 40마리를 채혈하였다. 채혈방법과 cortisol의 분석은 Jeon et al. (2000)과 같은 방법을 사용하였다. Glucose, GOT, GPT, 전해질(sodium, Na<sup>+</sup>; chloride, Cl<sup>-</sup>) 등은 혈액성분분석기(KODAK EKTACHEM DTII SYSTEM, U.S.A.)로, 삼투질 농도(osmolality)는 micro osmometer ( $\mu$  Osmtte<sup>TM</sup>, Precision System, U.S.A.)로 측정하였다.

### 용존산소 농도 실험

용존산소 농도에 따른 성장특성을 알아보기 위하여 어체중 약 60 g의 돌돔을 이용하였다. 용존산소 농도는 실험 환경인 사육수온 20℃, 염분도 35 psu를 기준으로 하여 3-4 (DO3), 5-6 (DO5) 및 7-8 mg/L (DO7) 구간으로 나누어 2반복으로 실험하였다. DO5와 DO7은 산소발생기의 산소량으로 용존산소 농도를 조절하였으며, DO3은 blower를 이용하였다. 실험기간 동안 용존산소 농도는 DO3, DO5 및 DO7에서 각각 3.07-5.48 (4.28±0.45), 4.21-6.50 (5.38±0.48) 및 5.36-10.45 mg/L (7.72±0.76 mg/L)로 유지하였다. 사료는 일간 2회(09:00, 17:00) 반복 공급하였으며, 42일간 사육 후 사료 효율과 성장도를 조사하였으며, 실험구별 10마리씩 혈액을 채취하여 분석·비교하였다.

### 통계처리

본 실험에 대한 결과는 mean±S.D.로 나타내었고, SPSS ver. 10.0 프로그램을 사용해 ANOVA로 검증한 후, P<0.05 수준에서 Duncan's multiple range test로 유의성 비교를 하였다.

## 결 과

### 사육밀도에 따른 성장특성

사육밀도에 따른 성장 실험결과를 Table 1에 나타내었다. 실험시작 시 5, 10, 15 및 20 kg/m<sup>3</sup>이었던 사육밀도는 45일 후 12.4±0.0, 22.2±0.7, 32.5±0.3 및 41.0±1.9 kg/m<sup>3</sup>로 증가하였고, 실험 전 평균 어체중이 약 28 g이던 개체가 45일 후에는 59-70 g 수준으로 성장하였다. 상대적으로 저밀도일수록 평균 어체중의 증가폭이 컸으며, 특히 SD05 밀도 실험구의 평균 어체중이 타 실험구에 비해 유의하게 높았다(P<0.05). 실험기간 동안 생존율은 99.5-99.9%로 높았으나 실험구간 유의한 차이는 보이지 않았다(P>0.05).

실험기간 동안의 사료섭취량은 SD05, SD10, SD15 및 SD20에서 각각 6,795±65, 12,067±354, 18,249±355 및 24,742

Table 1. Growth performance of parrotfish *Oplegnathus fasciatus* reared with 4 different stocking densities for 45 days

Exp. group	SD05	SD10	SD15	SD20
Initial mean weight (g)	28.3±1.2	28.6±0.4	29.1±0.7	28.8±0.7
Survival (%)	99.5±0.7	99.8±0.3	99.7±0.4	99.9±0.2
Mean weight gain (g/fish)	41.5±2.0 <sup>a</sup>	34.7±1.2 <sup>b</sup>	34.0±1.4 <sup>bc</sup>	30.0±2.1 <sup>c</sup>
Feed efficiency (%) <sup>1</sup>	65.13±0.95 <sup>a</sup>	60.69±4.78 <sup>ab</sup>	57.72±1.90 <sup>ab</sup>	50.95±6.15 <sup>b</sup>
Specific growth rate (%/day) <sup>2</sup>	2.00±0.00 <sup>a</sup>	1.76±0.06 <sup>b</sup>	1.71±0.03 <sup>bc</sup>	1.59±0.10 <sup>c</sup>
Daily feed intake (%/day) <sup>3</sup>	2.88±0.04	2.77±0.14	2.84±0.07	3.00±0.18

<sup>1</sup>Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).

<sup>2</sup>(Ln final weight - Ln initial weight) × 100/days.

<sup>3</sup>Feed intake (day matter) × 100/[(initial fish weight+final fish weight+dead fish weight) × days 5 fed/2].

Table 2. Growth performance of parrotfish *Oplegnathus fasciatus* reared with 3 different dissolved oxygen concentrations for 42 days

Exp. group	DO3	DO5	DO7
Initial mean weight (g)	62.7±0.5	64.1±2.6	62.0±1.2
Survival (%)	96.9±0.0	97.7±3.3	99.5±0.0
Mean weight gain (g/fish)	19±3	21±6	32±3
Feed efficiency (%) <sup>1</sup>	35.9±2.5	31.5±3.7	38.2±1.0
Specific growth rate (%/day) <sup>2</sup>	0.61±0.07 <sup>b</sup>	0.67±0.17 <sup>ab</sup>	0.99±0.06 <sup>a</sup>
Daily feed intake (%/day) <sup>3</sup>	1.81±0.28 <sup>b</sup>	2.22±0.09 <sup>ab</sup>	2.57±0.10 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).

<sup>2</sup>(Ln final weight - Ln initial weight) × 100/days.

<sup>3</sup>Feed intake (day matter) × 100/[(initial fish weight+final fish weight+dead fish weight) × days fed/2].

±775 g이었으며, 사료효율은 각각 65.13±0.95, 60.69±4.78, 57.72±1.90 및 50.95±6.15%로 나타나 사육밀도가 높을수록 사료의 효율이 유의하게 낮았으므로 나타났다( $P<0.05$ ).

일간성장률은 SD05 실험구가 2.00±0.00%로 타실험구의 1.76±0.06, 1.71±0.03 및 1.59±0.10 %/day에 비해 유의하게 높았으나( $P<0.05$ ), 일간사료공급률은 SD05, SD10, SD15 및 SD20에서 각각 2.88±0.04, 2.77±0.14, 2.84±0.07 및 3.00±0.18 %/day로 실험구간 사이에 유의한 차이가 없었다( $P>0.05$ ).

사육밀도에 따른 돌돔의 혈액성분의 차이는 Fig. 2에 제시하였다. 혈중 삼투질 농도는 SD05, SD10, SD15 및 SD20에서 각각 396.0±6.0, 379.0±7.6, 369.3±3.0 및 383.3±8.5 mOsm/kg으로 나타나 SD05 실험구에서 가장 높은 수치를 보였으며, SD15 실험구의 수치가 가장 낮았다( $P<0.05$ ). 전해질 이온인 Na<sup>+</sup>와 Cl<sup>-</sup> 이온의 혈중 농도도 각각 195.0±2.3, 190.3±3.4, 189.0±1.5 및 193.5±2.2 mEq/L, 159.3±1.2, 158.0±3.0, 156.2±1.2 및 160.3±2.2 mEq/L로 나타나 SD15 실험구의 수치가 낮게 나타났다( $P<0.05$ ). 간 손상의 정도를 나타내는 혈중 GOT 수치는 SD15 실험구에서 30.0±16.3 IU/L로 가장 낮은 수치를 보였으나, 실험구간에 유의한 차이는 없었다( $P>0.05$ ). 반면, 혈중 GPT 농도는 각각 7.00±1.26, 5.50±1.22, 3.17±1.17 및 6.17±1.17 IU/L로 SD05 실험구가 가장 높았으

며, SD15 실험구의 수치가 가장 낮았다( $P<0.05$ ). 혈중 Glucose의 농도는 각각 61.7±23.4, 55.3±11.9, 56.0±4.6 및 118.0±44.4 mg/dL로 나타나 SD20 실험구에서 유의하게 높았으며( $P<0.05$ ), 편차의 폭도 크게 나타났다. 혈중 cortisol 농도는 SD05, SD10, SD15 및 SD20 실험구에서 각각 38.4±8.8, 33.4±14.4, 23.0±9.9 및 15.2±5.6 µg/dL로 나타나 사육밀도가 높을수록 수치가 유의하게 낮아졌다( $P<0.05$ ).

#### 용존산소 농도에 따른 성장특성

평균 어체중 약 60 g의 돌돔을 20 kg/m<sup>3</sup>의 밀도로 입식한 후 용존산소 농도를 달리하여 42일간 사육한 결과는 Table 2에 제시하였다. 평균 체중은 DO3, DO5 및 DO7 실험구에서 입식 시 62.7±0.5, 64.1±2.6 및 62.0±1.2 g이었으나 45일 후에는 각각 83.7±3.1, 87.1±6.7 및 94.4±4.4 g으로 성장하였다. 용존산소의 농도가 높아질수록 더 빨리 성장하였으나 실험구간 큰 차이는 없었다. 생존율은 DO3, DO5 및 DO7 실험구에서 각각 96.9±0.0, 97.7±3.3 및 99.5±0.0%로 나타나 용존산소 농도가 증가할수록 생존율도 다소 증가하는 경향이 있었다. 사료공급량은 각각 10,583±1,769, 13,227±894 및 16,387±908 g 수준이었고, 사료효율은 각각 35.9±2.5, 31.5±3.7 및 38.2±1.0%로 나타나 DO7 실험구가 가장 높은 값을 보였다. 일간성장률은 각각 0.61±0.07, 0.67±0.17 및 0.99±0.06 %/day로, 일간사료공급률은 각각 1.81±0.28, 2.22±0.09 및 2.57±0.10 %/day로 DO7 실험구가 우수한 것으로 나타났다.

용존산소 농도를 달리하여 사육한 돌돔의 혈액성상은 Table 3에 제시하였다. 혈중 삼투질 농도는 DO3, DO5 및 DO7 실험구에서 각각 376.5±3.7, 374.0±4.1 및 381.2±5.4 mOsm/kg으로 DO3과 DO7 실험구가 높았다. 나아가 전해질 이온인 Na<sup>+</sup>는 DO3, DO5 및 DO7 실험구에서 각각 187.8±1.5, 187.8±2.3 및 187.8±1.6 mEq/L로 모든 실험구에서 비슷한 수치를 보였으나, Cl<sup>-</sup>은 각각 161.5±1.5, 160.5±2.3 및 155.3±2.5 mEq/L로 DO3, DO5 실험구보다 DO7 실험구의 수치가 유의하게 낮았다( $P<0.05$ ). 혈중 GOT, GPT 농도는 각각 22.8±7.6, 26.2±10.6 및 16.7±3.6 IU/L와 5.33±1.97, 5.33±1.21 및 6.67±2.25 IU/L로 나타났다. 혈중 Glucose 농도는 각각 67.5±12.1, 55.0±2.6 및 63.5±10.0 mg/dL로 나타났으며, 스트레

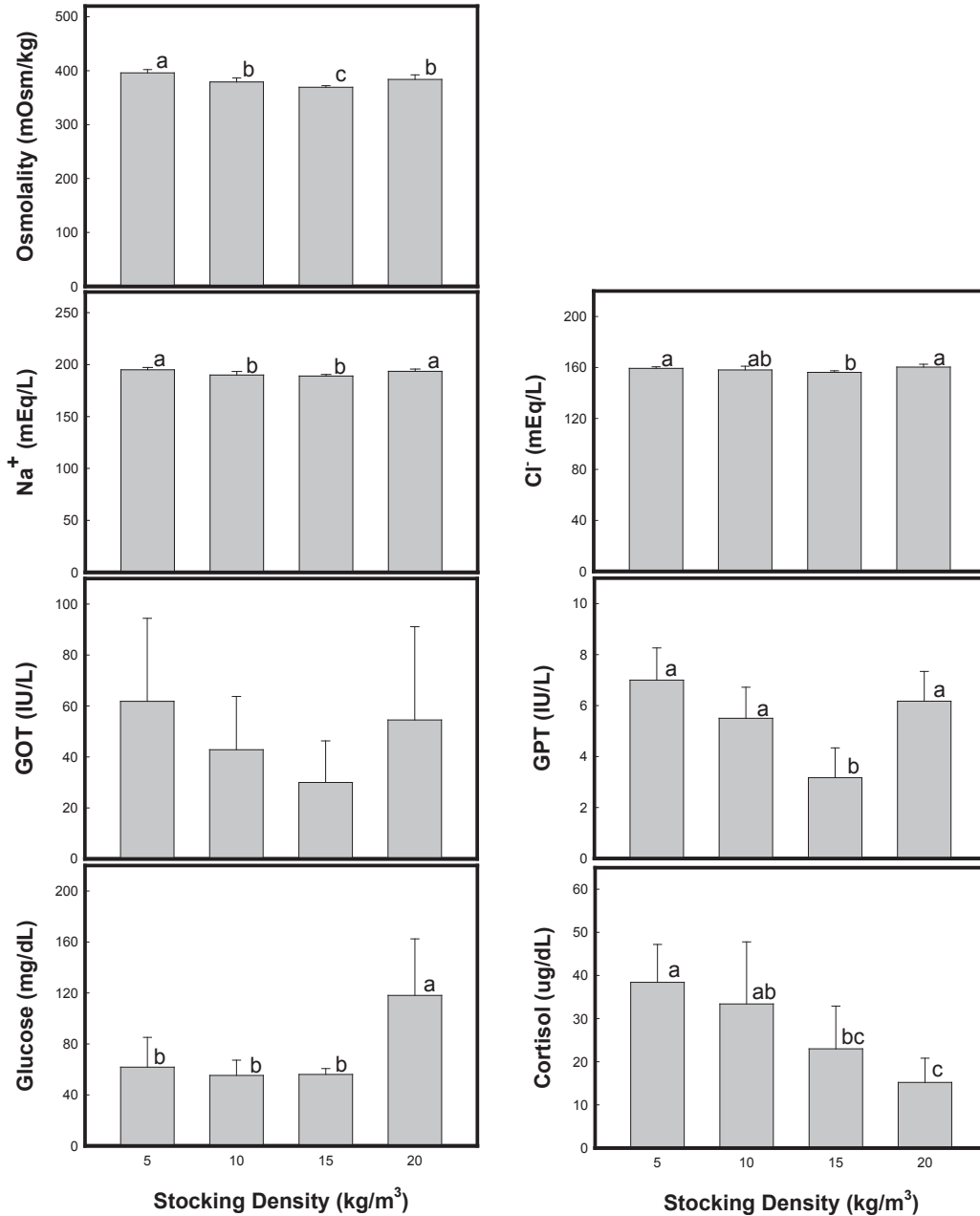


Fig. 2. Blood components of parrotfish *Oplegnathus fasciatus* reared with 4 different stocking densities for 45 days.

스 호르몬인 Cortisol의 혈중 농도는 DO3 실험구에서  $13.6 \pm 8.1$   $\mu\text{g/dL}$ 로 DO5, DO7 실험구의  $3.0 \pm 2.4$ ,  $1.7 \pm 1.3$   $\mu\text{g/dL}$ 보다 유의하게 높았다( $P < 0.05$ ).

### 고찰

순환여과시스템은 담수어류 중에서 고수온을 요구하는 일부 어종에서 산업적으로 활용되고 있으나, 해산어류에서의 순환여

과시스템은 염분으로 인하여 질산화 효율이 감소되기 때문에 이용성이 매우 제한된다(Son et al., 2000). 그 이유는 해수환경에서는 질산화효율이 크게 감소하기 때문에 수처리에 필요한 장비의 규모가 상대적으로 커야 하기 때문에 경제성이 다소 떨어지게 된다. 따라서 해산 어류를 순환여과시스템에서 사육하여 수익을 얻기 위해서는 고밀도 사육과 용존산소 농도에 대한 고려가 반드시 이루어져야 한다(Dalla Via et al., 1998; Kaushik, 1998).

Table 3. Blood components of parrotfish *Oplegnathus fasciatus* reared with 3 different dissolved oxygen concentrations for 42 days

Exp. group	DO3	DO5	DO7
Osmolality (mOsm/kg)	376.5±3.7 <sup>ab</sup>	374.0±4.1 <sup>b</sup>	381.2±5.4 <sup>a</sup>
Sodium(Na <sup>+</sup> ) (mEq/L)	187.8±1.5	187.8±2.3	187.8±1.6
Chloride(Cl <sup>-</sup> ) (mEq/L)	161.5±1.5 <sup>a</sup>	160.5±2.3 <sup>a</sup>	155.3±2.5 <sup>b</sup>
GOT (IU/L)	22.8±7.6	26.2±10.6	16.7±3.6
GPT (IU/L)	5.33±1.97	5.33±1.21	6.67±2.25
Glucose (mg/dl)	67.5±12.1 <sup>a</sup>	55.0±2.6 <sup>b</sup>	63.5±10.0 <sup>ab</sup>
Cortisol (mg/dl)	13.6±8.1 <sup>a</sup>	3.0±2.4 <sup>b</sup>	1.7±1.3 <sup>b</sup>

돌돔은 우리나라 가두리양식의 대상종이면서 육질이 우수하여 비교적 고가로 거래되는 고급종이다. 그러나 긴 겨울을 가진 한국의 양식환경에는 적합하지 않은 양식종이어서 동절기 동안 대량폐사가 발생하는 등 양식어민의 노력에도 불구하고 생산성이 크게 낮다(Statistics Korea, 2009). 따라서 돌돔은 아열대성 어류이면서 고가 어종이어서 해수 순환여과시스템(Marine-RAS)의 수처리 특성과 잘 맞는 양식대상종으로 고려되고 있다. 이는 순환여과의 중요한 수처리과정인 질산화과정은 수온이 높을수록 질산화 효율이 증가하기 때문에 비교적 고수온에 맞는 양식대상종이 적용하기에 유리하고, 동절기가 긴 겨울환경에서 가온 및 수처리가 이루어져야 하기 때문에 아직까지는 수익성이 크게 낮으므로 비교적 고가어종이어야 경제성이 있다.

양식생물에 있어서 사육밀도는 먹이 및 공간에 대한 경쟁으로 어류의 성장에 직접적인 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으며(Papoustoglou et al., 1987; Refstie, 1977), 본 연구 또한 사육밀도가 높아질수록 일간성장율이 감소하는 경향이 나타나 다른 어종을 대상으로 한 연구(Choi et al., 2002; Suh et al., 2002)와 부합하였다.

돌돔을 대상으로 밀도에 따른 사육실험을 한 결과 성장은 사육밀도와 반비례하여 밀도가 높아질수록 성장률은 다소 떨어지는 것으로 조사되었다. 그러나 혈액 성상을 분석하여 비교한 결과 SD05 실험구와 SD20 실험구의 항목별 수치가 SD10 실험구와 SD15 실험구에 비해 높게 나타나 스트레스 상태에 노출되어 있는 것으로 판단된다. 또한 SD10 실험구보다는 SD15 실험구의 혈액성분의 수치가 더 낮게 안정화되어 있는 것으로 봐서 돌돔의 상업적인 사육에서는 15 kg/m<sup>3</sup>를 방양하여 사육 종료 시 약 33 kg/m<sup>3</sup> 정도로 유지하는 것이 바람직하다.

사육밀도와 더불어 용존산소는 어류의 생존과 성장에 필수적인 요인으로 작용하고 있다(Dalla Via et al., 1998). Wedemeyer et al. (1976)은 연어과 어류 등 활동성이 높은 어류는 5 mg/L 이하에서 심각한 스트레스를 받는다고 했으며, Seong and Kim (2007)은 연어치어가 야간보다 용존산소가 급격히 하강하는 오전 및 주간 폐사율이 5배 이상 높았다고 보고하고 있다. 나아가 돌돔을 대상으로 한 연구에서도 사육수온이 상승할수록 산소 소비율이 직선적으로 증가하는 것으로 나타나(Oh et al., 2006) 순환여과시스템에서 지속적인 적정 농도의 산소 공급은

생산성을 확보하는 최대 관건이라고 할 수 있다.

Biswas et al. (2008)에 따르면 돌돔을 스트레스 환경에 노출시키면 스트레스 호르몬인 cortisol이 1시간 후에 10 µg/dL 이상까지 증가하고 그 이후 2 µg/dL 내외로 감소하는 것으로 보고하고 있으며, 2 µg/dL 내외에서는 비교적 안정적인 여건인 것으로 나타났다. 이 경우 같은 시간대에 glucose의 농도도 증가하여 최대 200 µg/dL 정도까지 상승하였고, 스트레스 약 4시간 후에 약 70-80 µg/dL 정도로 안정되는 것으로 보고하고 있다. 본 실험에서도 용존산소 농도 3-4 mg/L에서는 cortisol이 13.6±8.1 µg/dL로 심각한 스트레스 상태였으며, 7-8 mg/L에서는 1.7±1.3 µg/dL로 안정적인 것으로 나타났다.

또한, 스트레스를 받으면, 이온 조절 능력에 혼란이 발생되어 담수어는 혈장의 삼투압이 떨어지고, 해산어는 반대로 올라간다(Barton and Iwama, 1991). 본 연구에서는 돌돔의 사육 밀도가 아주 낮거나 높을 경우, 삼투질 농도가 높은 것으로 나타났다. 즉, 5 kg/m<sup>3</sup>의 밀도에서는 삼투질 농도가 396.0±6.0 mOsm/kg 수준으로 유의하게 높았고, 15 kg/m<sup>3</sup>에서 369.3±3.0 mOsm/kg 수준으로 낮아졌다가 20 kg/m<sup>3</sup>에서는 다시 383.8±8.5 mOsm/kg로 유의하게 높아지는 것으로 나타났다. 나아가 이와 관련된 sodium (Na<sup>+</sup>)과 chloride (Cl<sup>-</sup>)의 농도도 삼투질 농도 변화와 같은 형태를 보여 사육밀도가 너무 낮거나 높을 경우 스트레스에 노출되는 것으로 나타났다. 자원조성용 방류어류의 자연 적응성을 강화하기 위한 방편으로 도피성을 부여하기 위하여 고밀도로 종묘생산한 방류생물을 방류 전 저밀도로 관리할 경우, 공포심을 유발하여 도피성향이 강화된다는 보고와 같이 저밀도로 사육할 경우 오히려 스트레스에 노출되는 것으로 나타났다.

## 사 사

본 연구는 중소기업청의 산학공동기술개발 지원사업으로 수행된 연구결과 중 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다. 또한 실험준비에서부터 자료준비에 이르기까지 실험에 동참하였던 강원도립대학 수산과학연구소 박우근, 박성덕 연구원에게 감사드립니다.

## 참고문헌

- Barton BA and Iwama GK. 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the responses and effects of corticosteroids. A Rev Fish Diseases 1, 3-26.
- Biswas AK, Seoka M, Ueno K, Yong ASK, Biswas BK, Kim YS, Takii K and Kumai H. 2008. Growth performance and physiological responses in striped knifejaw, *Oplegnathus fasciatus*, held under different photoperiods. Aquacult 279, 42-46.
- Choi YU, Rho S and Lee YD. 2002. Effect of Water Temperature and Stocking Density on Growth of Juvenile Red

- Drum *Sciaenops ocellatus*. J Aquacult 15, 131-138.
- Dalla Via J, Villani P, Gasteiger E and Niederstätter H. 1998. Oxygen consumption in sea bass fingerling *Dicentrarchus labrax* exposed to acute salinity and temperature changes: metabolic basis for maximum stocking density estimations. Aquacult 169, 303-313.
- Jeon JK, Kim PK, Park YJ, Myoung JG and Kim JM. 2000. Changes of serum cortisol concentration and stress responses in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) to netting. J Kor Fish Soc 33, 115-118.
- Jeong KS, Kim SM, Bang IC, Kim SK and Lee WK. 1998. Induced spawning of striped knife-jaw, *Oplegnathus fasciatus* by manipulating water temperature and photoperiod. J Aquacult 11, 1-10.
- Kang YJ, Lee SM, Hwang HK and Bai SC. 1998. Optimum Dietary Protein and Lipid levels on Growth in Parrot Fish (*Oplegnathus fasciatus*). J Aquacult 11, 1-10.
- Kaushik SJ. 1998. Nutritional bioenergetics and estimation of waste production in non-salmonids. Aquacult Living Res 11, 211-217.
- Kim JH, Lee SM, Baek JM, Cho JK and Kim DS. 2003. Effect of Dietary Lipid Level and Herb Mixture on Growth of Parrot Fish, *Oplegnathus fasciatus*. J Kor Fish Soc 36, 113-119.
- Oh SY, Noh CH, Kang RS and Myoung JG. 2006. Effects of Water Temperature and Photoperiod on the Oxygen Consumption Rate of Fasted Juvenile Parrot Fish, *Oplegnathus fasciatus*. Ocean and Polar Res 28, 407-413.
- Papoutsoglou SE, Papapaskeva-Papoutsoglou E and Alexis MN. 1987. Effect of density on growth rate and production of rainbow trout over a full rearing period. Aquacult 66, 9-17.
- Refstie T. 1977. Effect of density on growth and survival of rainbow trout. Aquacult 11, 329-334.
- Seong KB and Kim JK. 2007. The Relationship Between Environmental Conditions and Growth of Chum Salmon Fingerlings. J Kor Soc Oceanography 12, 81-85.
- Son MH, Jeon IG, Cho KC and Kim KS. 2000. Ammonia removal rate on ammonia loading rates in seawater filtering system using rotating biological contactor (RBC). J Kor Fish Soc 33, 367-372.
- Statistics Korea. 2009. Statistic Database for Fisheries Production. Retrived from [http://kosis.kr/abroad/abroad\\_01list.jsp](http://kosis.kr/abroad/abroad_01list.jsp).
- Suh KH, Kim BJ and Jeon IG. 2001. Design and Development of Integrated Recirculating Aquaculture System. J Kor Fish Soc 34, 70-76.
- Suh KH, Kim BJ and Jo JY. 2002. Culture of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Recirculation Aquaculture System. J Kor Fish Soc 35, 27-34.

---

2011년 11월 1일 접수  
 2011년 11월 10일 수정  
 2011년 12월 7일 수리