

## 담수 및 해수사육 감성돔, *Acanthopagrus schlegeli*의 생리활성과 성장에 미치는 갑상선 호르몬의 효과

민병화, 노경언, 정민환, 강덕영<sup>1</sup>, 최철영<sup>2</sup>, 방인철<sup>3</sup>, 장영진\*  
부경대학교 수산과학대학 양식학과, <sup>1</sup>국립수산과학원 서해수산연구소  
<sup>2</sup>한국해양대학교 해양·환경생명과학부  
<sup>3</sup>순천향대학교 해양생명공학과

## Effects of Oral Administration of Thyroid Hormone on Physiological Activity and Growth of Black Porgy Reared in Freshwater or Seawater

Byung Hwa Min, Gyoung Ane Noh, Min Hwan Jeong, Duk-Young Kang<sup>1</sup>, Cheol Young Choi<sup>2</sup>, In-Chul Bang<sup>3</sup> and Young Jin Chang\*

Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

<sup>1</sup>West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea

<sup>2</sup>Division of Marine Environment & Bioscience, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

<sup>3</sup>Department of Marine Biotechnology, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea

Stress responses, osmoregulation and growth of black porgy reared in freshwater or seawater were investigated by supplying the feed (10 mg/kg feed) treated with the T<sub>3</sub> (3,5,3'-triiodo-L-thyronine) for 90 days. Plasma T<sub>3</sub> in black porgy reared for 60 days in freshwater with (FT) or without (FN) T<sub>3</sub> treatment was lower than that in black porgy reared in seawater with (ST) or without (SN) T<sub>3</sub> treatment. The concentration of T<sub>3</sub> in FT was significantly more than that in FN. Plasma cortisol in FT, at the same day, was 4 times higher than that in FN, whereas the differences of the hormone between ST and SN was not significant. Although the levels of plasma glucose in FN and FT tended to be lower than that in ST and SN, no differences were found between fish reared in freshwater and seawater after T<sub>3</sub> treatment. Aspartate aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT) of black porgy reared in seawater showed no difference throughout the experimental period. However, at the beginning stages of the experiment, the plasma levels of these enzymes in FN and FT were higher than in SN and ST. Recovering of AST level to the level of SN or ST was faster in FT than in FN. However, no effects of the exogenous T<sub>3</sub> treatment on osmoregulatory capacity and growth of black porgy reared in freshwater or seawater were observed in this study.

**Keywords:** Black porgy, *Acanthopagrus schlegeli*, 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T<sub>3</sub>), Stress, Osmoregulation, Growth

### 서론

외인성 갑상선호르몬, 성장호르몬, 프로락틴 및 스테로이드의 인위적 처리는 어류의 성장, 생존율, 생리활성 및 번식을 촉진하는 것으로 알려져 있다(Leatherland and Barrett, 1993). 따라서 최근에는 어류양식에 이러한 호르몬의 생리적 기능을 적용함으로써, 우량종의 대량생산을 유도하려는 시도가 활발하게 이루어지고 있다(Tanaka et al., 1995).

시상하부에서 분비되는 갑상선자극호르몬 방출호르몬은 뇌하

수체 전엽에 위치한 갑상선자극호르몬 세포를 자극하게 되며, 갑상선자극호르몬은 갑상선을 활성화시켜 갑상선호르몬을 분비시킨다(Denver, 1998). 갑상선에서 분비된 2개의 갑상선호르몬 즉, 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T<sub>3</sub>)과 thyroxine (T<sub>4</sub>)은 척추동물의 성장, 분화, 발달, 대사, 항상성 유지, 번식 및 스트레스에 대한 생리적 반응 등 다양한 생물학적 기능에 중추적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Sziszca et al., 2005). 한편 어류에서 hypothalamus-pituitary-thyroid (HPT)축은 항상성기구에 있어 중심적 기능을 하고 있으며, 특히 가자미류의 변태(Schreiber and Specker, 1999), 연어과 어류의 은화(Brown and Bern, 1989)와 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 또한, 삼투압조절 작용에도 관

\*Corresponding author: yjchang@pknu.ac.kr

여하며(Mancera and McCormick, 1999), 생식소호르몬과 상호 작용함으로써 생식소 발달에도 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Dickhoff et al., 1989).

감성돔(*Acanthopagrus schlegeli*)은 광염성 해산 경골어류로 염분내성이 강한 어종으로 알려져 있다(Kitajima and Tsukashima, 1983). 최근에는 이러한 생물학적 지식을 바탕으로, 고삼투압 조절 능력을 이용한 감성돔의 담수양식 연구가 활발하게 진행되고 있는 실정이다. 이와 관련하여 감성돔의 담수순화시 염분변화에 따른 혈액생리학적 반응, 삼투압조절 기관의 조직학적 연구 등이 있으며(Chang et al., 2002; Min et al., 2003), 또한 감성돔을 장기간 담수사육 하였을 때, 성장 및 생존율이 해수사육 감성돔에 비해 다소 높았다는 연구결과가 보고된 바 있다(Min et al., 2005a). 그러나 이들 연구에서는 담수사육시 어체의 생리상태를 해수사육 감성돔과 비교 하였을 뿐, 아직 까지 담수에서의 생리활성 및 성장 촉진을 위한 내분비학적 적용은 시도된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 담수 및 해수사육 감성돔을 장기 사육하는 동안 외인성 갑상선호르몬( $T_3$ )을 처리하였을 때, 어체의 스트레스 반응, 삼투압조절 능력 및 성장을 조사함으로써, 담수 및 해수사육 감성돔의 생리활성 촉진을 위한 갑상선호르몬의 내분비학적 적용 가능성을 파악하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험어 및 담수순화

해수에서 사육중인 부화 후 457일이 지난 감성돔 160마리를 실험에 사용하였다. 이중 80마리는 계속적으로 해수에서 사육하였으며, 나머지는 담수로 순화하기 위하여, 10‰ 해수에서 24 시간 유지시킨 다음 담수로 옮겨 65일간 적응시켰다.

### 호르몬 처리 및 사육조건

담수 및 해수사육 중이던 감성돔(평균전장:  $16.8 \pm 0.8$  cm, 체중:  $77.4 \pm 14.4$  g)을 각각 2그룹으로 나누었으며, 순환여과 사육시스템으로 구성된 4개의 FRP 원형수조(수용적 220 L)에 각각 20 마리씩 2반복으로 수용하였다. 한 그룹은 사료에 호르몬을 처리하여 공급한 실험구(담수 및 해수: FT, ST)로, 다른 한 그룹은 사료만을 공급한 대조구(담수 및 해수: FN, SN)로 설정하여 90일 동안 사육하였다. 실험에 사용된 사료는 돔육성용 상품사료(조단백 42%, 조지방 7%, 조섬유, 4%, 조회분 17%, 키클슘 1.2%, 인 2.7%)로서 FN, SN에 공급하였으며, FT와 ST에는  $T_3$  (3,5,3'-triiodo-L-thyronine salt, Sigma)를 99% 에탄올에 녹여 사료 kg 당 10 mg (10 ppm)을 흡착시킨 후 에탄올을 완전히 제거하여 공급하였다. 실험기간 동안 사료는 1일 2회 반복으로 공급하였으며, 사육기간 동안 수온은 19.8~21.7°C였으며, 환수량은 매일 총 사육수의 5%씩으로 하였다. 혈액 채취 및 성장도 조사는 0, 30, 60 및 90일째에 실시하였다.

### 혈액의 채취 및 분석

실험어로부터 혈액을 채취하기 이전에 공급한 먹이가 어체의 혈액성상에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 채혈 24시간 전부터 절식시켰다. 채혈직전 실험어를 tricaine methan sulphonate (MS-222) 200 ppm으로 마취한 후, heparin이 처리된 주사기(3 mL)를 사용하여 미부혈관으로부터 채혈하였으며, 원심분리(4°C, 10000 rpm, 5분)하여 얻은 혈장은 호르몬 분석전까지 -80°C의 초저온 냉동고에 보관하였다. 혈장 cortisol 농도는 cortisol RIA kit (DSL, USA)를 사용하여 방사선면역측정법(RIA)으로 분석하였으며, 혈장  $T_3$ 는  $T_3$  EIA Kit (Biosewom, Korea)를 사용하여 효소면역측정법(EIA)으로 분석하였다. 혈장 glucose, AST (aspartate aminotransferase), ALT (alanine aminotransferase),  $Na^+$ ,  $K^+$  및  $Cl^-$ 은 Biochemistry Autoanalyzer (Hitach 7180, Hitach Co., Japan)로, 혈장 삼투질농도는 Vapor Pressure Osmometer (Vapro 5520, WESCOR Co., USA)로 조사하였다.

### 성장 및 생존율 조사

전장은 1 mm 눈금의 계측판을, 체중은 전자저울(Navigator, Switzerland)을 이용하여 0.1 g까지 습중량으로 측정하였다. 또한 사육종료시, 일간 사료섭취율, 일간 성장률, 증중률 및 사료 효율을 조사하였다.

실험기간중 각 실험구에서 매일 폐사개체를 파악하여 폐사율을 구하고, 이로부터 생존율을 역산하였다.

### 통계처리

실험결과와 통계처리는 ANOVA-test를 실시하여 유의수준 5%에서 Tukey's multiple range test(실험구사이의 유의성)와 LSD test(각 실험구내 유의성)로 평균간의 유의성을 SPSS (ver. 9.0) program을 사용하여 검정하였다.

## 결 과

### 혈장 $T_3$

혈장  $T_3$  농도는 30일째까지 실험구사이에서 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 60일째에는 FN, FT이 SN, ST에 비해 낮았으며, 또한 FN은 FT보다 유의하게 낮았다. 90일째에는 FT가 나머지 실험구에 비하여 높았다. FN의 혈중  $T_3$  농도는 실험개시시에  $3.7 \pm 0.1$  ng/ml였던 것이 60일째에는  $0.6 \pm 0.2$  ng/ml로 유의하게 감소하였으며, 90일째에는 개시시 수준보다 높게 증가하였다. 실험기간동안 FT의 혈중  $T_3$  변화는 FN과 비슷한 경향을 보였다. SN의 혈중  $T_3$  농도는 실험개시시에  $3.6 \pm 0.2$  ng/ml였던 것이 60일째에  $4.5 \pm 0.2$  ng/ml로 유의하게 증가하였다가 90일째에는 개시시 수준으로 회복하였다. ST에서는 실험개시시에  $3.5 \pm 0.2$  ng/ml였던 것이 30일째  $4.5 \pm 0.4$  ng/ml로 증가하여 60일째에는 최고값인  $5.0 \pm 0.7$  ng/ml에 도달한 뒤 90일째에는 SN과 마찬가지로 개시시 수준으로 감소하였다(Fig. 1).

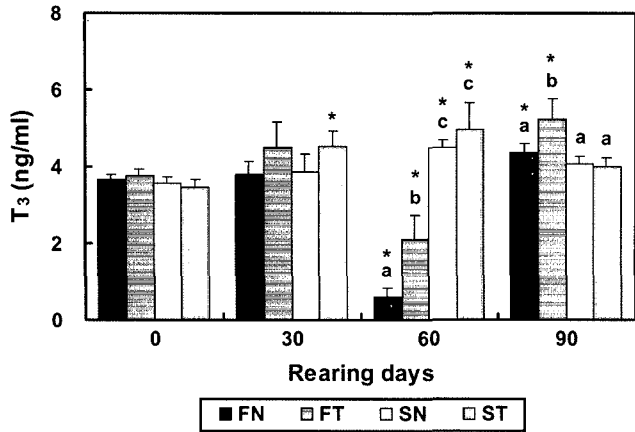


Fig. 1. T<sub>3</sub> levels in plasma of black porgy reared in freshwater and seawater. Each value represents a means±S.D. (n=6). Same letters indicate no significant difference among FN, FT, SN and ST in each sampling days. \*indicate differences between initial condition and sampling days (30, 60, 90) in each group (P<0.05).

**혈장 cortisol 및 glucose**

혈장 cortisol은 60일째를 제외하고는 실험구 사이에서 차이가 없었다. 60일째에는 FT가 다른 실험구보다 유의하게 높았으며, 특히 FN과 FT는 각각 5.1±1.4 ng/ml, 21.0±3.3 ng/ml로 FT가 FN보다 4배 정도 높았다. 또한 유의한 차이는 없었으나 ST가 SN에 비해 다소 높은 것으로 나타났다. FT의 혈장 cortisol 농도는 실험개시시에 비해 60일째에 유의하게 증가하였으며, 90일째에는 개시시 수준보다 낮았다. 30, 60, 90일째에 FN, ST 및 SN의 혈장 cortisol 농도는 개시시와 비교해 볼 때 차이가 없었다(Fig. 2).

FN, FT의 혈장 glucose는 실험기간동안 SN, ST에 비해 낮은 경향을 보였다. FN의 혈장 glucose 농도는 실험개시시에 50.2±2.2 mg/dl였던 것이 60일째에 42.7±3.9 mg/dl로 감소하였으며, 또한 ST는 실험개시시에 62.0±5.5 mg/dl였던 것이 30일째에 50.0±2.8 mg/dl로 감소하였으나 90일째에는 모두 개시시 수준으로 회복되었다. 그러나 FT와 SN은 실험기간동안 변화가 없었다(Fig. 2).

**AST 및 ALT**

FN, FT의 AST는 60일째까지 SN, ST보다 높았으며, 또한 30일째부터는 FT가 FN보다 유의하게 낮았다. FN의 혈장 AST는 실험개시시에 59.3±3.3 IU/L였던 것이 실험종료시에는 37.7±5.1 IU/L로 유의하게 감소하였으며, FT는 실험개시시에 57.0±6.0 IU/L였던 것이 30일째부터 감소하기 시작하여 90일째에는 최저값인 21.7±4.9 IU/L로 나타났다. SN, ST의 AST는 실험기간동안 변화가 없었다(Table 1).

FN, FT의 ALT는 실험개시시에 SN, ST보다 높았으나, 이후로는 실험구사이에서 유의한 차이를 보이지 않았다. FN, FT는 실험개시시에 각각 4.0±0.7, 4.3±0.4 IU/L였던 것이 30일째에

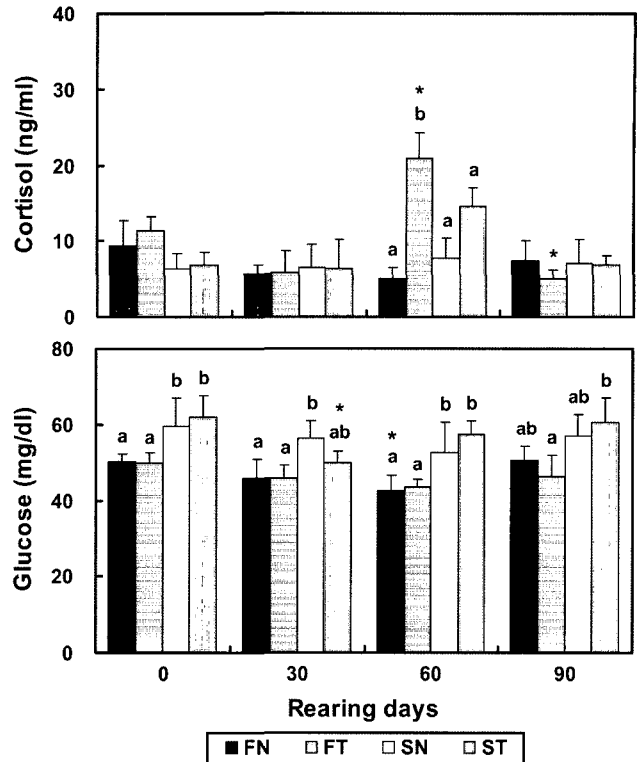


Fig. 2. Cortisol and glucose levels in plasma of black porgy reared in freshwater and seawater. Each value represents a means±S.D. (n=6). Same letters indicate no significant difference among FN, FT, SN and ST in each sampling days. \*indicate differences between initial condition and sampling days (30, 60, 90) in each group (P<0.05).

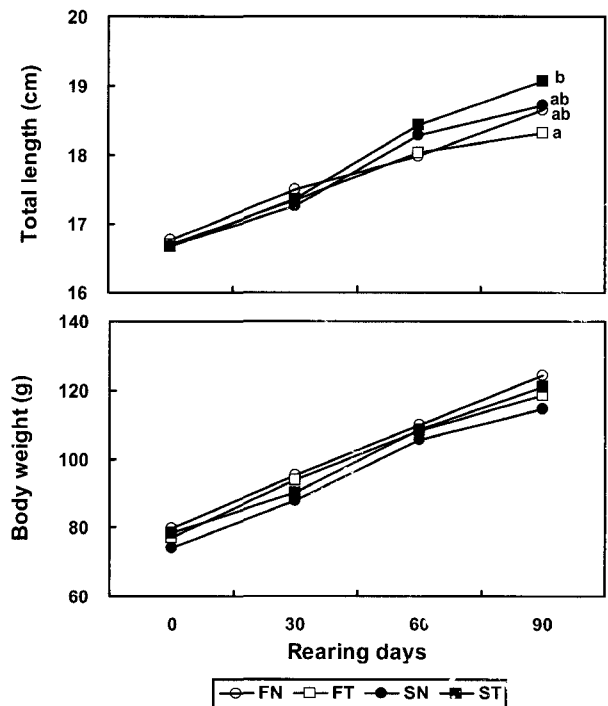


Fig. 3. Total length, body weight of black porgy reared in freshwater and seawater. Same letters indicate no significant difference among FN, FT, SN and ST in each sampling days (P<0.05).

**Table 1.** AST and ALT levels in plasma of black porgy reared in freshwater and seawater

Rearing days	AST (IU/L)				ALT (IU/L)			
	FN	FT	SN	ST	FN	FT	SN	ST
0	59.3±3.3 <sup>b</sup>	57.0±6.0 <sup>b</sup>	32.7±2.4 <sup>a</sup>	28.3±3.1 <sup>a</sup>	4.0±0.7 <sup>a</sup>	4.3±0.4 <sup>a</sup>	2.4±0.7 <sup>b</sup>	2.3±0.8 <sup>b</sup>
30	57.0±5.3 <sup>c</sup>	41.3±7.6 <sup>b*</sup>	26.8±5.8 <sup>a</sup>	24.7±3.6 <sup>a</sup>	2.8±0.4 <sup>*</sup>	2.3±0.4 <sup>*</sup>	2.8±0.6	3.2±1.0
60	54.7±7.1 <sup>c</sup>	40.0±6.5 <sup>b*</sup>	22.0±2.0 <sup>a</sup>	24.4±3.9 <sup>a</sup>	3.0±0.8	2.5±0.5 <sup>*</sup>	2.3±0.9	3.3±0.9
90	37.7±5.1 <sup>b*</sup>	21.7±4.9 <sup>a*</sup>	31.5±6.0 <sup>ab</sup>	37.7±4.2 <sup>b</sup>	2.8±0.3 <sup>*</sup>	2.5±0.2 <sup>*</sup>	2.0±0.3	2.2±0.3

Each value represents a means±S.D. (n=6). Same letters indicate no significant difference among FN, FT, SN and ST in each sampling days. \*indicate differences between initial condition and sampling days (30, 60, 90) in each group (P<0.05).

는 2.8±0.4, 2.3±0.4 IU/L로 유의하게 감소하였다. SN, ST는 실험기간동안 차이가 없었다(Table 1).

### 혈장 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> 및 삼투질농도

실험개시시에 혈장 Na<sup>+</sup>의 수준은 차이가 없었으나, 이후로는 FN, FT가 SN, ST보다 유의하게 낮았다. 그러나, 모든 실험구의 혈장 Na<sup>+</sup> 농도는 실험기간동안 변화가 없었다. 모든 실험구의 혈장 K<sup>+</sup> 농도는 실험기간동안 차이가 없었다(Table 2).

실험개시시에 혈장 Cl<sup>-</sup>의 수준은 차이가 없었으나, 30, 60일째에는 FN, FT가 SN, ST보다 유의하게 높았으며, 또한 90일째에는 FT가 SN, ST보다 높았다. FN의 혈장 Cl<sup>-</sup> 농도는 실험개시시에 152.3±3.8 mEq/L였던 것이 30일째에 161.0±1.6 mEq/L로 유의하게 증가하였으며, 90일째에는 실험개시시 수준으로 감소하였다. FT의 혈장 Cl<sup>-</sup> 농도의 변화 또한 FN과 비슷한 경향을 보였다. SN의 혈장 Cl<sup>-</sup> 농도는 실험개시시에 153.2±1.8 mEq/L였던 것이 60일째에 146.5±1.3 mEq/L로 유의하게 감소하였으나, 90일째에는 개시시 수준으로 회복하였다. ST에서는 실험기간동안 변화가 없었다(Table 2).

60일째 FN, FT의 혈장 삼투질농도는 ST에 비하여 낮았다.

또한 FN, FT의 혈장 삼투질농도는 실험개시시에 각각 354.3±3.0 mOsm/kg, 355.3±1.8 mOsm/kg였던 것이 60일째에 342.3±5.4 mOsm/kg, 345.2±4.4 mOsm/kg로 감소하였다가 90일째에는 다시 개시시 수준으로 회복하였다. SN, ST는 실험기간동안 유의한 차이가 없었다(Table 2).

### 전장, 체중성장 및 생존율

FN, FT, SN 및 ST의 전장은 실험개시시에 각각 16.8±0.8, 16.7±0.7, 16.7±0.9, 16.7±0.8 cm였던 것이, 종료시에 18.6±1.6, 18.3±1.1, 18.7±1.0, 19.1±0.9 cm로 ST가 FT보다 전장성장이 유의하게 빨랐다. 체중은 실험개시시에 각각 79.8±14.1, 77.1±11.9, 74.0±17.2, 78.5±14.4 g이었던 것이, 종료시에 124.3±26.2, 118.5±26.7, 114.5±19.5, 120.0±22.1 g으로 성장하였으나 유의한 차이는 없었다(Fig. 3). 또한 실험종료시 일간사료섭취율, 일간체중성장률, 증중률 및 사료효율은 실험구사이에서 차이를 보이지 않았다(Table 3). 실험기간동안 FN, SN 및 ST에서 실험어는 모두 생존하였으며, FT의 생존율은 92.5±3.5%로 나타났다(Table 3).

**Table 2.** Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> and osmolality levels in plasma of black porgy reared in freshwater and seawater

Rearing days	Na <sup>+</sup> (mEq/L)				K <sup>+</sup> (mEq/L)			
	FN	FT	SN	ST	FN	FT	SN	ST
0	175.0±3.0	175.6±2.9	179.0±2.0	179.3±1.8	3.6±0.9	3.8±0.8	3.2±0.1	3.3±0.3
30	175.6±1.7 <sup>a</sup>	176.0±0.7 <sup>a</sup>	180.0±1.3 <sup>b</sup>	177.2±2.8 <sup>ab</sup>	3.3±0.7	3.8±0.9	3.1±0.2	3.4±0.3
60	175.0±2.0 <sup>a</sup>	176.3±1.1 <sup>a</sup>	179.7±0.6 <sup>b</sup>	181.5±3.2 <sup>b</sup>	3.4±0.8	3.6±0.3	3.2±0.2	3.2±0.5
90	174.2±0.8 <sup>a</sup>	174.2±1.5 <sup>a</sup>	179.5±2.0 <sup>b</sup>	179.3±1.8 <sup>b</sup>	3.8±0.4	3.8±0.6	3.3±0.2	3.3±0.2

**Table 2.** Continued

Rearing days	Cl <sup>-</sup> (mEq/L)				Osmolality (mOsm/kg)			
	FN	FT	SN	ST	FN	FT	SN	ST
0	152.3±3.8	154.5±1.5	153.2±1.8	152.2±3.0	354.3±3.0	355.3±1.8	354.8±7.3	357.3±6.2
30	161.0±1.6 <sup>b*</sup>	163.0±1.0 <sup>b*</sup>	158.0±2.0 <sup>a*</sup>	155.3±2.0 <sup>a</sup>	357.2±5.4	354.2±3.9	356.7±8.2	354.0±4.5
60	157.8±1.4 <sup>c*</sup>	157.3±3.0 <sup>c</sup>	146.5±1.3 <sup>a*</sup>	150.2±2.8 <sup>b</sup>	342.3±5.2 <sup>a*</sup>	345.2±4.4 <sup>a*</sup>	353.8±12.8 <sup>ab</sup>	359.4±2.7 <sup>b</sup>
90	151.8±2.2 <sup>ab</sup>	155.3±3.0 <sup>b</sup>	150.0±1.7 <sup>a</sup>	149.8±1.8 <sup>a</sup>	347.7±3.9 <sup>*</sup>	344.8±6.8 <sup>*</sup>	350.0±2.8	351.8±1.3

Each value represents a means±S.D. (n=6). Same letters indicate no significant difference among FN, FT, SN and ST in each sampling days. \*indicate differences between initial condition and sampling days (30, 60, 90) in each group (P<0.05).

**Table 3.** Growth performance and survival of black porgy reared in freshwater and seawater (FI, FE: dry matter)

	FI <sup>1</sup> (%)	SGRW <sup>2</sup> (%)	WGR <sup>3</sup> (%)	FE <sup>4</sup> (%)	Survival (%)
FN	0.64±0.3	0.38±0.1	41.2±10.6	59.9±16.4	100
FT	0.63±0.1	0.32±0.1	34.1±6.2	51.4±3.4	92.5±3.5
SN	0.73±0.4	0.39±0.2	42.2±1.0	53.1±0.9	100
ST	0.74±0.3	0.36±0.1	38.5±12.7	47.8±12.0	100

Each value represents a means±S.D. (n=20). There was no difference among FN, FT, SN and ST (P>0.05). FE: feed efficiency, FI: daily feed intake, SGRW: specific growth rate, WGR: weight gain rate.

<sup>1</sup>FI:  $[F/\{(W_1+W_2+W_3/2) \times D\}] \times 100$ , <sup>2</sup>SGRW:  $[WG/\{(W_1+W_2+W_3/2) \times D\}] \times 100$ , <sup>3</sup>WGR:  $\{(W_2+W_3)-W_1/W_1\} \times 100$ , <sup>4</sup>FE:  $(SGRW/FI) \times 100$   
D: rearing day, F: dry feed intake, W<sub>1</sub>: initial total weight, W<sub>2</sub>: final total weight, W<sub>3</sub>: death total weight.

## 고찰

갑상선호르몬의 다양한 생리적 기능(성장, 대사, 세포분화, 발달, 변태, 번식, 삼투압조절 등)은 여러 경골어류에서 이미 잘 알려져 있다(Kime, 1998; Lam, 1980; Shi and Brown, 1993). 따라서 본 연구에서는 외인성 갑상선호르몬이 담수 및 해수사육 감성돔의 생리활성 및 성장에 어떠한 영향을 미치는지 조사하였다.

본 연구에서는 호르몬의 어체 주입 방법 중, 호르몬을 사료에 흡착시켜 공급하는 경구투여법을 사용하였으며, 그 결과 실험 30일째부터 FT의 혈장 T<sub>3</sub> 농도가 FN보다 높았으며, 또한 유의한 차이는 없었으나 ST가 SN보다 높은 것으로 나타났다. 이것은 경구투여를 통한 외인성 T<sub>3</sub>가 정상적으로 어체에 흡수되었음을 의미한다. 본 연구에서는 호르몬의 용매로 에탄올을 사용하였기 때문에, 에탄올이 처리된 사료를 공급하는 sham구를 설정하는 것이 바람직하나, 사료에 에탄올을 완전히 증발시켜 공급하였을 경우 어체의 성장과 생존에 아무런 영향을 미치지 않는다는 연구결과(Kang and Chang, 1996)를 고려하여 본 연구에서는 sham구를 설정하지 않았다.

본 연구에서 해수사육 감성돔(SN, ST)은 실험개시시에 비해 60일째 혈장 T<sub>3</sub>가 증가한 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다. 본 연구에서 사육 60일째는 시기적으로 3월 중순경으로, 이때 본 저자들은 담수 및 해수사육 감성돔 생식소의 조직학적 관찰을 통해, 이 시기가 감성돔의 산란기임을 확인할 수 있었다(Min et al., 2005b). 또한 연어과 어류를 비롯한 여러 어종에서 갑상선호르몬은 생식소자극호르몬에 의해 유도되는 성스테로이드 합성을 촉진하고 난모세포를 발달시킴으로써 생식소자극호르몬과 상호작용하는 것으로 알려져 있다(Dickhoff et al., 1989). 실제로 Min et al. (2005b)에 따르면 외인성 T<sub>3</sub>가 혈장 testosterone (T)을 상승 시켰다는 결과를 볼 때, 본 연구의 혈장 T<sub>3</sub>의 상승은 감성돔의 성숙 및 배정에 관여하고 있음을 의미한다. 반면, 같은 시기에 담수사육 감성돔에서는 해수사육과는 반대로 급격한 감소를 보였는데, 이것은 2가지 측면으로 고찰해 볼 수 있다. 첫째 담수사육 감성돔은 정상적인 성숙 및 산란을 위해서 시상하부-뇌하수체-갑상선 축에 의한 호르몬의 생성량보다 삼투압조절 또는 성숙, 배정을 위한 T<sub>3</sub>의 작용량이 더 많았기 때

문에 이때 혈장 T<sub>3</sub>가 담수에서는 낮은 것으로 추측된다. 둘째 감성돔의 담수사육은 어체에 스트레스로 작용할 수 있으며, 이러한 만성적 스트레스는 시상하부-뇌하수체-갑상선 축의 활성을 억제하여 T<sub>4</sub>의 분비를 감소시켰기 때문에(또는 T<sub>4</sub>에서 T<sub>3</sub>로의 전환에 필요한 5'-deiodinase enzyme의 활성을 억제) T<sub>3</sub>가 감소한 것으로 생각해 볼 수 있다. 그러나 본 연구에서 혈장 cortisol의 수준을 조사하여 스트레스 반응을 조사한 결과, 60일째 FN, SN의 혈장 농도가 각각 5.1, 7.7 ng/ml였으며, FT, ST에서는 21.0, 14.6 ng/ml로 호르몬을 처리가 실험구가 높은 것으로 나타났다. 그러나 이들 값은 감성돔의 안정시 수준(10~35 ng/ml, Chang et al., 2002; Min et al., 2003)에 포함되며, cortisol에 의한 혈장 glucose의 상승이 유발되지 않은 것으로 보아 실험기간 동안 담수(또는 해수)사육 감성돔은 스트레스를 받지 않는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 결과를 볼 때, 60일째 담수사육 감성돔의 혈장 T<sub>3</sub> 감소 이유는 전자가 타당성이 있다고 생각된다.

본 연구에서 60일째 FT, ST는 각각 FN, SN보다 혈장 cortisol이 높았으며, 이것은 외인성 T<sub>3</sub> 처리에 따른 결과로 보여 진다. 일반적으로 corticosteroid는 어류의 번식을 억제한다는 보고가 있다. 틸라피아(*Oreochromis mossambicus*)에서 cortisol 경구투여 결과, 생식소 크기와 난모세포 성장이 지연되었으며(Foo and Lam, 1993a), 브라운송어(*Salmo trutta*)와 틸라피아에서는 혈장 내 낮은 수준의 성스테로이드가 보고되었다(Foo and Lam, 1993b). 그러나 Goswami and Sundararaj (1974)는 잉어(*Cyprinus carpio*)의 난모세포 성숙에 있어 corticosteroid의 역할을 강조하고 있다. 또한 감성돔의 경우, cortisol 처리는 시상하부의 신경세포를 자극하여 생식소자극호르몬 방출호르몬(gonadotropin releasing hormone, GnRH) 분비에 직접적인 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(Lee et al., 2004). 이상의 결과들을 볼 때, 본 연구에서 외인성 T<sub>3</sub>는 직접적으로 생식소 발달을 촉진할 수 있으나, 또한 시상하부-뇌하수체-갑상선 축을 활성화시키며, 이로 인한 혈장 cortisol의 상승이 GnRH 분비를 촉진함으로써 성숙 및 배정 촉진에 관여한 것으로 보여 진다.

AST와 ALT는 아민기 전이 효소로서 척추동물의 간 기능을 나타내는 일반적인 지표로서, 어체가 건강할 때는 혈중의 활성이 낮다가 조직의 괴사가 일어나거나, 병적 증상이 나타날 때는 세포외로 방출됨으로써 혈중의 활성이 높아지게 된다(池田

등, 1986). 어류에서는 수온변화, 저산소, pH, 암모니아, 중금속 등에 의한 스트레스 반응을 평가하는 데에 사용되고 있다(Pan et al., 2003). 본 연구에서 실험개시시에 FN, FT의 AST 및 ALT의 농도는 SN, ST보다 높았는데, 이것은 담수순화에 따른 스트레스 후유증이 완전하게 회복되지 않았기 때문인 것으로 보여진다. 실험기간동안 AST의 변화를 조사한 결과 FN과 FT는 각각 실험종료시와 30일째에 감소하였다. 이 결과는 갑상선호르몬이 스트레스로 인해 손상된 간 기능을 빨리 회복시켰음을 의미한다.

갑상선호르몬은 주로 연어과 어류를 비롯한 회유성 어류가 담수에서 해수로의 이동시 해수적응에 관여하는 것으로 알려져 있다(Wendelaar Bonga, 1993). 또한 최근에는 담수어종인 틸라피아에서 처음으로 T<sub>3</sub>와 T<sub>4</sub>의 삼투압조절 효과에 대한 증거가 보고된 바 있는데(Peter et al., 2000), T<sub>3</sub>와 T<sub>4</sub> 처리는 아가미 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase 활성을 증가시켰으며, 이로 인해 혈장 Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> 및 삼투질농도가 상승하였다. 이 결과는 갑상선호르몬이 담수 어류의 Na<sup>+</sup>펌프 활성과 이온 흡수를 촉진함으로써, 고삼투압조절을 용이하게 하도록 작용하고 있음을 나타내고 있다. 본 연구에서 FT와 FN의 혈장 이온 및 삼투질농도는 차이는 없었던 것으로 보아 담수사육한 감성돔에 있어 T<sub>3</sub> 처리에 따른 고삼투압조절 효과는 없는 것으로 나타났는데, 이것은 본 연구에서 사용한 호르몬의 농도가 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase 활성에 영향을 미치는 적정 수준이 아닐 수 있음을 의미한다. Peter et al. (2000)에 따르면 낮은 농도의 갑상선호르몬은 틸라피아 아가미 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase 활성을 증가시켰으나, 고농도(>1000 ng·g<sup>-1</sup>)에서는 효소 활성에 아무런 효과가 없다고 하였다. 그러나 대서양 연어에 T<sub>4</sub>(>1000 ng·g<sup>-1</sup>)를 11일 이상 처리했을 때 아가미 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase 활성이 증가된다는 결과를 볼 때(Madsen and Korsgaard, 1989) Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase 활성에 대한 갑상선호르몬의 농도 반응은 종 특이적이라 할 수 있다.

T<sub>3</sub> 경구투여에 의한 성장촉진 효과는 감성돔(Kang and Chang, 1996), 조피볼락(*Sebastes schlegeli*) (Kang et al., 2001), 은연어(*Oncorhynchus kisutch*) (Higgs et al., 1979), 대서양연어(*Salmo salar*) (Saunders et al., 1985), 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*) (Higgs et al., 1992) 등 다양한 어종에서 보고되고 있다. 그러나 갑상선호르몬 처리가 항상 긍정적인 결과만을 나타내지는 않는다. 갑상선호르몬의 고농도 처리는 지느러미 길이 증가, 척추측만증(scoliosis) 및 전만증(lordosis)와 같은 비정상적인 체형 발달을 유도하기도 하며(Nacario, 1983), 또한 Kang and Chang (1996)은 감성돔에서 T<sub>3</sub>가 증가할수록 비만도가 감소하였다는 연구를 보고한 바 있다. 외인성 갑상선호르몬의 효과는 어체내 내인성 갑상선호르몬의 농도에 좌우될 것으로 생각되는데, 이미 어체내에 호르몬의 수준이 높을 경우에, 외인성 호르몬의 처리는 기능적 작용 개시에 필요한 적정 농도를 초과하게 되어 갑상선항진증(hyperthyroid)과 기형발달의 원인이 될 수 있으며, 반대로 체내 호르몬이 적정 농도 이하일

경우에는 외인성 갑상선호르몬의 효과를 기대 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 호르몬 처리에 따른 성장 촉진 효과가 나타나지 않았던 이유는 아마도 성장에 필요한 내인성 호르몬의 양이 충분하여, 외인성 호르몬의 효과가 없었던 것으로 추측해 볼 수 있다.

결론적으로, 외인성 T<sub>3</sub>는 담수 및 해수사육 감성돔의 혈장 cortisol을 상승시켰는데, 이 cortisol은 성숙 및 배정에 관여한 것으로 추측되며, 또한 담수사육 감성돔에서는 훼손된 간을 빨리 회복시키는 것으로 보인다. 그러나 삼투압조절 향상 및 성장 촉진 효과는 없었다. 이러한 결과들은, 여러 생리적 기능의 활성화를 위한 갑상선호르몬의 적정 농도가 서로 다를 수 있음을 의미한다. 따라서 앞으로는 호르몬의 다양한 농도처리 실험이 필요할 것으로 생각된다.

## 요 약

본 연구에서는 담수 및 해수사육 감성돔을 대상으로 T<sub>3</sub>가 처리된 사료(10 mg/kg 사료)를 90일간 공급하면서 어체의 스트레스, 삼투압조절 및 성장을 조사하였다.

혈장 T<sub>3</sub> 농도는 60일째에 FN, FT이 SN, ST에 비해 낮았으며, 또한 FN은 FT보다 유의하게 낮았다. 혈장 cortisol은 60일째를 제외하고는 실험구 사이에서 차이가 없었다. 60일째에 FT (21.0±3.3 ng/ml)는 FN (5.1±1.4 ng/ml)보다 4배정도 높았으며, 또한 유의한 차이는 인정되지 않았지만 ST가 SN에 비해 다소 높은 것으로 나타났다. FN, FT의 혈장 glucose는 실험기간동안 SN, ST에 비해 낮은 경향을 보였으나, 담수 및 해수사육 감성돔에서 호르몬 처리에 의한 차이는 나타나지 않았다. 해수사육 감성돔의 AST 및 ALT는 실험기간동안 차이가 없었으나, 실험개시시 FN, FT의 AST 및 ALT는 SN, ST보다 높았다. 또한 FN, FT의 AST의 해수수준으로 회복은 각각 실험종료시와 30일째에 해수수준으로 나타나 호르몬을 처리한 FT가 더 빨랐다. 그러나, 담수 및 해수사육 감성돔의 삼투압조절 향상 및 성장촉진을 위한 외인성 T<sub>3</sub> 공급 효과는 나타나지 않았다.

## 감사의 글

이 논문은 2004학년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었음.

## 참고문헌

Brown, C. L. and H. A. Bern, 1989. Hormones in early development with special reference to teleost fishes. (In) Hormones in Development, Maturation and Senescence of Neuroendocrine Systems, Academic Press, New York, pp. 289-306.

- Chang, Y. J., B. H. Min, H. J. Chang and J. W. Hur, 2002. Comparison of blood physiology in black seabream (*Acanthopagrus schlegeli*) cultured in converted freshwater from seawater and seawater from freshwater. *J. Korean Fish. Soc.*, 35, 595–600.
- Denver, R. J., 1998. The molecular basis of thyroid hormone-dependent central nervous system remodeling during amphibian metamorphosis. *Comp. Biochem. Physiol.*, 119, 219–228.
- Dickhoff, W. W., L. Yan, E. M. Plisetskaya, C. V. Sullivan, P. Swanson, A. Hara and M. G. Bernard, 1989. Relationship between metabolic and reproductive hormones in salmonid fish. *Fish Physiol. Biochem.*, 7, 147–155.
- Foo, J. T. W. and T. J. Lam, 1993a. Retardation of ovarian growth and depression of serum steroid levels in tilapia, *Oreochromis mossambicus* by cortisol implantation. *Aquaculture*, 115, 133–143.
- Foo, J. T. W. and T. J. Lam, 1993b. Serum cortisol response to handling stress and the effect of cortisol implantation on testosterone level in the tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Aquaculture*, 115, 145–158.
- Goswami, S. V. and B. I. Sundararaj, 1974. Effects of C<sub>18</sub>, C<sub>19</sub>, and C<sub>21</sub> steroids on in vitro maturation of oocytes of the catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch). *Gen. Comp. Endocrinol.*, 23, 282–285.
- Higgs, D. A., B. S. Dosanjh, L. M. Uin, B. A. Himick and J. G. Eales, 1992. Effects of dietary lipid and carbohydrate levels and chronic 3,5,3'-triiodo-L-thyronine treatment on growth, appetite, food and protein utilization and body composition of immature rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, at low temperature. *Aquaculture*, 105, 175–190.
- Higgs, D. A., U. H. M. Fagerlund, J.R. McBride and J. G. Eales, 1979. Influence of orally administered L-thyroxine or 3,5,3'-triiodo-L-thyronine on growth, food consumption and food conversion of underyearling coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Can. J. Zool.*, 57, 1974–1979.
- Kang, D. Y. and Y. J. Chang, 1996. Effects of dietary 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T<sub>3</sub>) on growth and survival rate in juvenile black seabream, *Acanthopagrus schlegeli*. *J. Aquaculture*, 9, 215–222.
- Kang, D. Y., Y. J. Chang, Y. Kim and J. I. Myoung, 2001. Effects of oral administrated thyroid hormone (T<sub>3</sub>) on physiological condition, growth and survival rate of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). *J. Korean Fish. Soc.* 34, 588–593.
- Kime, D. E., 1998. Disruption of thyroid and interrenal function. (In) *Endocrine Disruption in Fish*. Kluwer Academic Publishers, MA, USA, pp. 247–274.
- Kitajima, C. and Y. Tsukashima, 1983. Morphology, growth and low temperature and low salinity tolerance of sparid hybrids (*Sparus sarba*, *Acanthopagrus schlegeli*). *Jap. J. Ichthyol.*, 30, 275–283.
- Lam, T. J., 1980. Thyroxine enhances larval development and survival in *Sarotherodon* (Tilapia) *mossambicus*. *Aquaculture*, 21, 287–291.
- Leatherland, J. F. and S. B. Barrett, 1993. Investigation into the development of the pituitary gland-thyroid tissue axis and distribution of tissue thyroid hormone content in embryonic coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) from Lake Ontario. *Fish Physiol. Biochem.*, 12, 149–159.
- Lee, Y. H., J. L. Dub, Y. S. Shih, S. R. Jeng, L. T. Sun and C. F. Chang, 2004. In vivo and in vitro sex steroids stimulate seabream gonadotropin-releasing hormone content and release in the protandrous black porgy, *Acanthopagrus schlegeli*. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 139, 12–19.
- Madsen, S. S. and B. Korsgaard, 1989. Time-course effects of repetitive estradiol-17 $\beta$  and thyroxine injections on the natural spring smolting of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *J. Fish Biol.*, 35, 119–128.
- Mancera, J. M. and S. D. McCormick, 1999. Influence of cortisol, growth hormone, insulin-like growth factor I and 3,3',5-triiodo-L-thyronine on hypoosmoregulatory ability in the euryhaline teleost *Fundulus heteroclitus*. *Fish Physiol. Biochem.*, 21, 25–33.
- Min, B. H., B. K. Kim, J. W. Hur, I. C. Bang, S. K. Byun, C. Y. Choi and Y. J. Chang, 2003. Physiological responses during freshwater acclimation of seawater-cultured black porgy (*Acanthopagrus schlegeli*). *Korean J. Ichthyol.*, 15, 224–231.
- Min, B. H., C. Y. Choi and Y. J. Chang, 2005a. Comparison of physiological conditions on black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* acclimated and reared in freshwater and seawater. *J. Aquaculture*, 18, 37–44.
- Min, B. H., G. A. Noh, M. H. Joeng and Y. J. Chang, 2005b. Effects of 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T<sub>3</sub>) on sex steroid levels and gonadal development in black porgy, *Acanthopagrus schlegeli*. *Dev. Reprod.*, 9, 15–22.
- Nacario, J. F., 1983. The effect of thyroxine on the larvae and fry of *Sarotherodon niloticus* L. (*Tilapia nilotica*). *Aquaculture*, 34, 73–83.
- Pan, C. H., Y. H. Chien and B. Hunter, 2003. The resistance to ammonia stress of *Penaeus monodon* Fabricius juvenile fed diets supplemented with astaxanthin. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 297, 107–118.
- Peter, M. C. S., R. A. C. Lock and S. E. Wendelaar Bonga, 2000. Evidence for an osmoregulatory role of thyroid hormones in the freshwater mozambique tilapia *Oreochromis mossambicus*. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 120, 157–167.
- Saunders, R. L., S. D. McCormick, E. B. Henderson, J. G. Eales and C. E. Johnston, 1985. The effect of orally administered 3,5,3'-triiodo-L-thyronine on growth and salinity tolerance of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 45, 143–156.
- Schreiber, A. and J. Specker, 1999. Early larval development and metamorphosis in the summer flounder: changes in percent whole-body water content and effects of altered thyroid status. *J. Fish Biol.*, 55, 148–157.
- Shi, Y. B. and D. D. Brown, 1993. The earliest changes in tadpole intestine induced by thyroid hormone. *J. Biol. Chem.*, 268, 20312–20317.
- Sziszcha, V., N. Papandroulakis and M. Pavlidis, 2005. Ontogeny of the thyroid hormones and cortisol in the gilthead sea bream, *Sparus aurata*. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 142, 186–192.
- Tanaka, M., J. B. Tanangonan, M. Tagawa, E.G. de Jesus, H. Nishida, M. Isaka, R. Kimura and T. Hirano, 1995. Develop-

- ment of the pituitary, thyroid and interrenal glands and application of endocrinology to the improved rearing of marine fish larvae. *Aquaculture*, 135, 111–126.
- Wendelaar Bonga, S. E., 1993. Endocrinology. In *“The Physiology of Fishes”* (D. H. Evans, Ed.), CRC Press, Boca Raton, FL., pp. 469–502.
- 池田彌生, 尾崎久雄, 瀬崎哲次郎. 1986. 魚類血液圖鑑. 綠書房, 東京, pp. 361.
- 
- 원고접수 : 2006년 5월 4일  
수정본 수리 : 2006년 8월 10일