

감성돔, *Acanthopagrus schlegeli*의 성 스테로이드 및 생식소 발달에 미치는 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T₃)의 영향

민병화 · 노경언 · 정민환 · 장영진[†]
부경대학교 수산과학대학 양식학과

Effects of 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T₃) on Sex Steroid Levels and Gonadal Development in Black Porgy, *Acanthopagrus schlegeli*

Byung-Hwa Min, Gyoung-Ane Noh, Min-Hwan Jeong and Young-Jin Chang[†]

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

ABSTRACT : The objective of the present study was to investigate changes of sex steroid(testosterone: T and estradiol-17 β : E₂), cortisol levels and gonadal development following T₃ treatment to protandrous black porgy, *Acanthopagrus schlegeli*. Exogenous T₃ was found to significantly stimulate the increase of T levels in plasma of black porgy after 60 days of treatment. However no effects of T₃ on E₂ levels and oocyte size were found. T₃ treatment resulted in stimulated spermatogenesis and testicular development in gonad and prolonged spermiation. Also, the levels of cortisol were significantly increased in the fish treated with T₃ as compared to control fish at 60 days. The results showed that exogenous T₃ had direct effect on the release of T and cortisol, thus T₃ seems to play, either directly or indirectly, an important role in the testis development of functional male black porgy.

Key words : Black porgy, *Acanthopagrus schlegeli*, 3,5,3'-triiodo-L-thyronine, Testosterone, Estradiol-17 β , Cortisol, Gonadal development.

요 약 : 양성 선속형 해산 어류인 감성돔에게 T₃를 경구 투여하여 성스테로이드인 testosterone(T), estradiol-17 β (E₂) 및 cortisol 수준의 변화와 생식소 발달을 조사하였다. 외인성 T₃는 사육 60일째 감성돔의 혈장 T의 수준을 유의하게 상승시켰으나, 혈장 E₂ 및 난모세포의 크기에는 영향을 미치지 못하였다. 또한 T₃ 처리는 생식소 내 정소 발달과 정자 형성과정을 촉진시켰으며, 정자 방출 기간을 연장하는 것으로 나타났다. T₃를 처리한 실험구에서 60일째에 혈장 cortisol 수준이 대조구에 비하여 유의하게 높았다. 본 연구 결과에서 외인성 T₃는 T와 cortisol 분비에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이는 기능적 수컷의 생식소 발달에 있어 직·간접적으로 중요한 역할을 하는 것으로 보인다.

서 론

시상하부에서 분비되는 갑상선 자극호르몬 방출호르몬은 뇌하수체 전엽에 위치한 갑상선 자극호르몬 세포를 자극하게 되며, 갑상선 자극호르몬은 갑상선을 활성화시켜 갑상선 호르몬의 분비를 조절한다(Denver, 1998). 갑상선에서 분비된 2개의 갑상선 호르몬 즉, 3,5,3'-triiodo-L-thyronine(T₃)과 thyroxine(T₄)은 척추동물에 있어 성장, 분화, 발달, 대사, 항상성 유지, 번식 및 스트레스에 대한 생리적 반응 등 다양한 생물학적 기능에 중추적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Crockford,

2003; Szischa *et al.*, 2005). 한편 어류에서 hypothalamus-pituitary-thyroid(HPT) 축은 항상성 기구(homeostatic mechanism)에 있어 중심적 역할을 하고 있다. 갑상선 호르몬은 어류의 성장과 물-이온 평형을 조절하며(Van Anholt *et al.*, 2003), summer flounder(*Paralichthys dentatus*)의 변태, 연어과 어류의 은화와 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Schreiber & Specker, 1999; Brown & Bern, 1989). 또한 갑상선 호르몬은 생식에 있어 중요한 역할을 한다고 밝혀진 바 있다. 어류 난소의 여포 세포에 갑상선 호르몬 수용체가 존재한다는 보고가 있으며(Chakraborty *et al.*, 1986; Maitra & Bhattacharya, 1989), 갑상선 호르몬은 연어과 어류에서 생식소 자극호르몬에 의해 유도된 생식소의 스테로이드 합성과 난모세포 발달을 향상시킴으로써, 생식소 자극호르몬과 상호작용하는 것으로 보고된 바 있다(Cyr & Eales, 1988; Dickhoff *et al.*, 1989; Sullivan *et al.*, 1989). 갑상선 호르몬 농도의 계절적 변화는 번식 주기와 상관관계가 있으나, 이러한 관계는 어종에 따라 달라진다. 연

*본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: R01-2004-000-10251-0)지원으로 수행되었음.

[†]교신저자: 부산시 남구 내연3동 599-1, 부경대학교 수산과학대학 양식학과. (우) 608-737, (전) 051-620-6135, (팩) 051-628-7430, E-mail: yjchang@pknu.ac.kr

어과 어류의 *Oncorhynchus* 속에서 갑상선 호르몬은 초기 비텔로제닌 합성 동안 가장 높고, 최종 성숙이 가까워짐에 따라서 감소한다(Leatherland & Sonstegard, 1980; Sower & Schreck, 1982; Biddiscombe & Idler, 1993; Ueda *et al.*, 1984; Cyr & Eales, 1988). 그러나 *Salmo*속에서는 혈중 갑상선 호르몬 수준이 배란 직전에 증가하는 것으로 알려지고 있으며(Pickering & Cristie, 1981; Dickhoff *et al.*, 1989; Norberg *et al.*, 1989), 이러한 어종에 따른 갑상선 호르몬 수준의 차이는 비연어과 어류의 연구에서도 보고되고 있다(Eales & Fletcher, 1982; Chakraborti & Bhattacharta, 1984).

갑상선 호르몬은 성장호르몬, 프로락틴 및 cortisol 등과 같은 여러 호르몬의 작용을 촉진시키는 역할을 하며, 특히 갑상선 호르몬과 cortisol의 상호작용은 탄수화물의 대사 촉진(Hontela *et al.*, 1995), 양서류의 변태(Brown & Kim, 1995), 어류의 초기발달(Szischka *et al.*, 2005)에 영향을 미친다.

감성돔(*Acanthopagrus schlegeli*)은 광염성 해산 경골어류로 아시아에 주로 분포하고 있으며, 한국, 일본, 대만 등에서는 중요한 양식 어종으로 알려져 있다. 감성돔은 웅성 선속형 자웅동체의 생식소를 가지며, 부화 후 2년 동안은 기능적 수컷으로 존재하지만 3년째부터는 성전환을 하는 어종이다(Lee *et al.*, 2004). 본 연구에서는 감성돔의 기능적 수컷을 대상으로 갑상선 호르몬 T₃를 경구 투여하였을 때, 성스테로이드인 T와 E₂의 혈장 내 수준 변화를 파악하고 생식소 발달 양상을 관찰하며, 또한 혈중 cortisol의 농도를 조사하여 성호르몬 분비에 미치는 갑상선 호르몬과 cortisol의 작용 여부를 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험어와 사육조건

부화 후 457일 지난 감성돔(전장 16.7±0.9cm, 체중 74.0±17.2g) 80마리를 실험에 사용하였으며, 이중 40마리는 실험구(T₃ 처리구)로, 나머지는 대조구로 설정하여 해수 순환 여과 사육 시스템으로 구성된 4개의 FRP 원형 수조(수용적 220 L)에 각각 20마리씩 2반복으로 수용하여 90일간 사육하였다. 사육기간 동안 공급한 사료는 상업용 돔육성 사료(조단백 42%, 조지방 7%, 조섬유 4% 조회분 17%, 칼슘 1.2%, 인 2.7%)였으며, 매일 2회씩 반복으로 공급하였다. 사육기간 동안 수온은 19.8~21.7°C였으며, 환수량은 매일 총 사육수의 0.7~1.3%씩으로 하였다. 사육기간 중 혈액 및 생식소 샘플은 실험 개시 시(2005년 1월 15일), 30, 60, 90일째에 각각 채취하였다.

2. 호르몬 처리

호르몬을 처리한 실험구에서는 T₃(3,5,3'-triiodo-L-thyronine salt, Sigma)를 99% 에탄올에 녹여 사료 kg당 10mg(10ppm)을 혼합시킨 뒤 에탄올을 완전히 증발시켜 실험어에 경구 투여하였으며, 대조구는 사료만을 공급하였다.

3. 혈액 채취 및 호르몬 분석

실험어로부터 혈액을 채취하기 이전에 공급한 먹이가 혈중 호르몬에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 채혈 24시간 전부터 절식시켰다. 각 실험구에서 6마리씩을 무작위로 잡아 150ppm의 MS-222(Sigma, USA)로 마취시킨 다음, heparin sodium을 처리한 주사기(3mL)를 사용하여 미부 혈관으로부터 채혈하였으며, 혈액을 원심분리(4°C, 10,000rpm, 5분)하여 얻은 혈장은 호르몬 분석 전까지 -72°C의 초저온 냉동고에 보관하였다. 또한 혈액 채취 후 실험어의 생식소를 절취하여 Bouin액에 고정하였다.

혈장 T₃와 T₄는 각각 T₃ EIA, T₄ EIA Kit(Biosewoom, Korea)를 사용하여 효소면역측정법(EIA)으로 분석하였으며, 혈장 T, E₂ 및 cortisol 농도는 각각 T RIA kit(DSL, USA), E₂ RIA kit(ADLTIS, Italy) 및 cortisol RIA kit(DSL, USA)를 사용하여 방사선면역측정법(RIA)에 의해 항원과 표지 항원이 항체에 경쟁적으로 반응하도록 유도한 다음, Gamma Counter(Cobra II, USA)로 분석하였다.

4. 생식소의 조직학적 관찰

정소 및 난소 조직의 발달 단계를 조사하기 위하여 Bouin액에 고정된 생식소를 상법에 따라 파라핀으로 포매한 다음, 조직을 5µm 두께로 연속 절편하고, haematoxylin-eosin으로 대비 염색하여 광학현미경 아래에서 관찰하였다. 또한 난소 내 난모세포의 크기를 조사하기 위하여 화상해석 시스템(Matrox Inspector 2.0, USA)을 사용하여 염색인기 및 주변인기 난모세포의 장경과 단경을 측정하였다.

5. 통계 처리

각 실험 결과로부터 얻어진 데이터는 mean±SD로 나타내었으며, 유의차는 SPSS-통계패키지(version 10.0)에 의한 one way ANOVA와 Duncan's multiple range test(실험구 내 또는 대조구 내 유의성)와 student's *t*-test(실험구와 대조구 사이의 유의성)로 검정하였다($P < 0.05$).

결 과

1. 갑상선 호르몬의 농도

T₃를 경구 투여한 감성돔의 혈중 T₃ 농도는 실험 개시 시에 3.5±0.2ng/mL였던 것이 30일째 4.5±0.4ng/mL로 증가하여 60일째에는 최고값인 5.0±0.7ng/mL에 도달한 뒤 90일째에는 개시 시 수준으로 감소하였다. 대조구에서는 실험 개시 시에 3.6±0.2ng/mL였던 것이 60일째에 4.5±0.2ng/mL로 유의하게 증가하였다가 90일째에는 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 1). 또한 대조구와 실험구에서 30일째에 각각 4.5±0.4ng/mL, 3.9±0.5ng/mL, 60일째에는 5.0±0.7ng/mL, 4.5±0.2ng/mL로 실험구가 대조구에 비해 다소 높았다(Fig. 1).

실험구의 혈중 T₄ 농도는 실험 개시 시에 19.8±4.3ng/mL였던 것이 60일째 15.7±3.1ng/mL로 낮아지다가 90일째에는 21.7±4.3ng/mL로 개시 시 수준으로 높아졌으나 실험 기간 동안 유의한 차이는 없었다. 대조구에서도 60일째 유의하게 감소하였다가 90일째 개시 시 수준으로 상승하는 것으로 나타나 실험구와 비슷한 경향을 보였다. 그러나 실험 기간 동안 실험구와 대조구 사이에서 유의한 차이는 없었다(Fig. 1).

2. 성 스테로이드의 농도

실험구의 혈중 T 농도는 실험 개시 시에 0.123±0.018ng/mL였

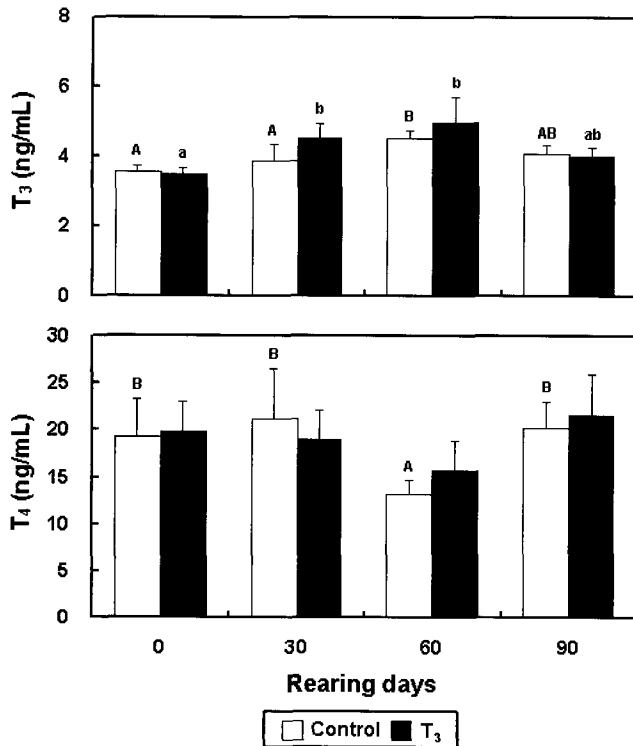


Fig. 1. T₃ and T₄ levels in plasma of black porgy, *Acanthopagrus schlegelii*. Same capital letters indicate no significant difference among control and small letters among T₃ treatment ($P > 0.05$). * difference between control and T₃ treatment ($P < 0.05$).

던 것이 60일째 0.173±0.011ng/mL로 증가하였으나 90일째에는 0.080±0.008ng/mL로 개시 시 수준보다 유의하게 감소하였다. 대조구에서는 60일째까지는 개시 시의 T 농도와 차이를 보이지 않았지만, 90일째에는 실험구와 마찬가지로 감소하는 경향을 보였다. 또한 60일째에는 실험구와 대조구 각각 0.173±0.011ng/mL, 0.120±0.020ng/mL로 실험구에서 유의하게 높았다(Fig. 2).

실험구 및 대조구의 혈중 E₂ 농도는 실험 개시 시에 각각 13.0±4.4pg/mL, 12.6±3.8pg/mL였던 것이 30일째에 1.8±0.6pg/mL, 2.2±0.8pg/mL로 유의하게 감소하여 90일째까지 비슷한 값을 유지하는 것으로 나타났으며, 실험구 및 대조구간의 유의한 차이는 인정되지 않았다(Fig. 2).

3. Cortisol의 농도

실험구의 혈중 cortisol 농도는 실험 개시 시에 6.9±1.7ng/mL였던 것이 60일째에 14.6±2.5ng/mL로 유의하게 증가한 반면, 대조구에서는 6.3±2.0~7.7±2.7ng/mL로 차이를 보이지 않았다. 또한 60일째에는 실험구와 대조구가 각각 14.6±2.5ng/mL, 7.7±2.7ng/mL로 실험구가 대조구에 비해 유의하게 높았다(Fig. 3).

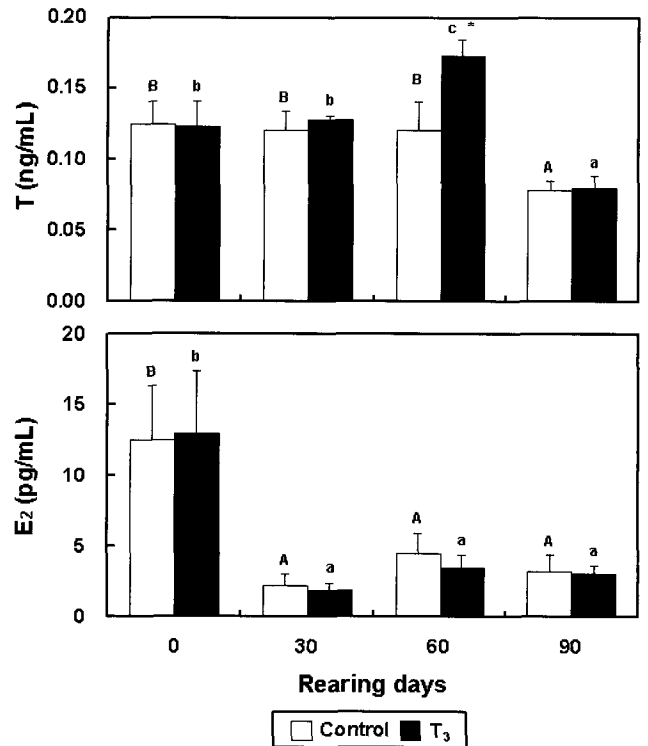


Fig. 2. Testosterone(T) and estradiol-17β(E₂) levels in plasma of black porgy, *Acanthopagrus schlegelii*. Same capital letters indicate no significant difference among control and small letters among T₃ treatment ($P > 0.05$). * difference between control and T₃ treatment ($P < 0.05$).

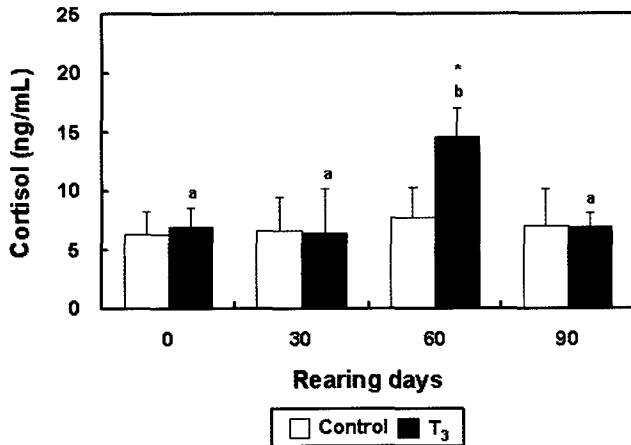


Fig. 3. Cortisol levels in plasma of black porgy, *Acanthopagrus schlegelii*. Same capital letters indicate no significant difference among control and small letters among T₃ treatment ($P > 0.05$). * difference between control and T₃ treatment ($P < 0.05$).

4. 생식소의 조직학적 관찰

감성돔 생식소의 조직학적 관찰 결과, 생식소 내에는 정소와 난소가 함께 존재하며, 특히 정소가 먼저 발달하는 응성 선속형 자동동체임이 확인되었다.

실험 개시 시(1월)의 대조구 및 실험구의 정소 부분은 정원세포 및 정세포들이 분포하고 있었다(Fig. 4 C0, T₃0) 30일째(2월)에는 대조구 및 실험구에서 정자 형성이 활발하게 진행되고 있었으며, 소엽 내에는 주로 정모세포, 정세포들이 분포하였으며, 성숙한 정자도 다소 관찰되었다(Fig. 4 C₃₀, T₃30). 60일째(3월)에는 대조구에서 30일째와 마찬가지로 정모세포, 정세포 및 정자가 관찰되었으며, 특히 정자의 밀도가 가장 높았다. 실험구에서는 대부분의 정소가 정자로 가득 차 있었으며, 대조구에 비해 현저히 높은 정자 밀도를 관찰할 수 있었다(Fig. 4 C₆₀, T₃60). 90일째(4월)에는 대조구에서 정자가 대부분 방출되었으나, 실험구에서는 60일째와 비슷한 조직상을 보여 정소에는 성숙한 정자로 가득 차 있었다(Fig. 4 C₉₀, T₃90).

대조구 및 실험구의 난소 부분은 난소 소엽 내 많은 수의 염색인기 및 주변인기 난모세포들이 분포하고 있었다. 실험기간 동안 대조구 및 실험구의 난모세포의 크기는 각각 $23.6 \pm 6.3 \sim 28.1 \pm 7.0 \mu\text{m}$, $24.4 \pm 6.5 \sim 27.8 \pm 7.7 \mu\text{m}$ 였으며, 대조구 및 실험구간에 유의한 차이는 없었다(Table 1).

고찰

본 연구에서는 응성 선속형 자동동체인 감성돔을 대상으

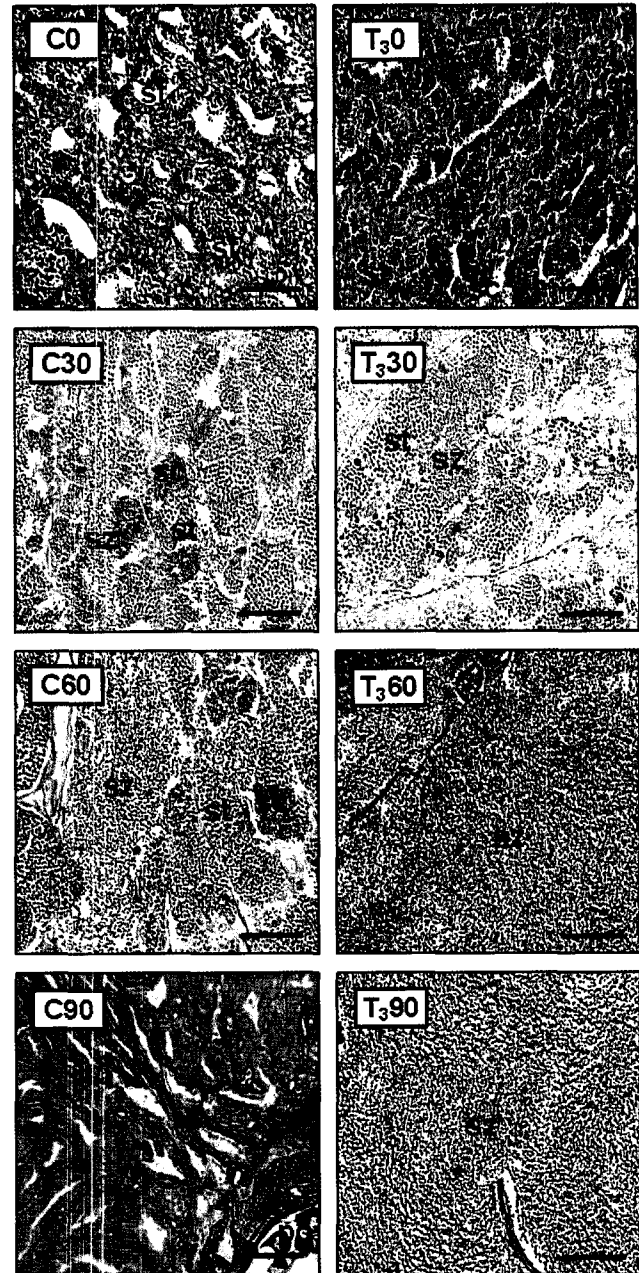


Fig. 4. Photomicrographs of testis part in gonad of black porgy, *Acanthopagrus schlegelii*. C0: control, 0 day(January), T₃0: T₃ treatment, 0 day(January), C₃₀: control, 30 days (February), T₃30: T₃ treatment 30 days(February), C₆₀: control, 60 days(March), T₃60: T₃ treatment 60 days(March), C₉₀: control, 90 days(April), T₃90: T₃ treatment 90 days (April). po: peri-nucleolus oocyte, sc: spermatocyte, st: spermatid, sz: spermatozoon, Bar=50 μm .

로 갑상선 호르몬의 일종인 T₃를 경구 투여하였을 때, 성 스테로이드 호르몬의 변화 및 생식소 발달을 조사하여, 어류 번식에 있어 갑상선 호르몬의 역할을 파악하고자 하였다.

Hwang(1999)에 의하면, 자연 수온(9.6~25.8℃)에 가까운

Table 1. Oocyte size of black porgy, *Acanthopagrus schlegelii*

Rearing days (Month)	Oocyte size(μm)	
	Control	T ₃
0(Jan.)	28.1 \pm 7.0	27.8 \pm 7.7
30(Feb.)	24.0 \pm 7.7	25.2 \pm 5.2
60(Mar.)	23.6 \pm 6.3	25.4 \pm 4.7
90(Apr.)	23.8 \pm 5.8	24.4 \pm 6.5

There was no difference among control or T₃ treatment, between control and T₃ treatment($P > 0.05$).

환경에서 사육한 감성돔의 번식 주기는 2~3월에 성장기, 3~4월에 성숙기, 5~6월에 산란기, 7~1월에 퇴행 및 휴지기로 연속적인 주기를 나타내는 것으로 알려지고 있다. 그러나 20°C 전후의 수온에서 실내 사육하여 정자 형성 과정을 관찰한 본 연구에서는 1월에 성장기, 2월에 성숙기, 3월에 산란기, 4월에 휴지기로 나타나, 성숙 단계가 자연 수온 조건의 감성돔보다 1~2개월 빠른 것으로 나타났다. 이러한 결과는 다음의 3가지 사실에서 그 이유를 찾아 볼 수 있다. 첫째, 본 연구에서 수온을 약 20°C로 유지하여 사육함으로써, 자연 수온보다 온도가 높았다는 점, 둘째, 어류에서 혈장 T는 11-KT 및 생식소 발달과 함께 증가하며 정자 형성 과정에 영향을 미친다는 사실(Scott *et al.*, 1980; Methven *et al.*, 1992), 셋째, 자연 수온에서 1년생 감성돔의 혈장 T는 10~2월까지 60pg/mL 이하이나(Lau, 1997), 본 연구에서는 혈장 T가 1~3월까지 100pg/mL 이상으로 유지된 점으로 보아, 수온에 의한 시상하부-뇌하수체-생식소 축이 활성화되고 성 스테로이드인 T의 분비가 촉진되어 생식소 발달이 빨라졌던 것으로 판단된다.

연어과 어류를 비롯한 여러 어종에서 갑상선 호르몬은 생식소 자극호르몬에 의해 유도되는 성 스테로이드 합성을 촉진하고 난모세포를 발달시킴으로써 생식소 자극호르몬과 상호작용하는 것으로 알려져 있다(Cyr & Eales, 1988; Dickhoff *et al.*, 1989; Sullivan *et al.*, 1989). 본 연구의 대조구에서 혈장 T₃는 60일째 4.5 \pm 0.2ng/mL로 가장 높았으나, 60일째의 T는 30일째와 비교해 볼 때 차이가 없었다. 또한 실험구에서도 혈장 T₃는 60일째 5.0 \pm 0.7ng/mL로 가장 높았으며, 이와 함께 T의 농도도 상승하는 것으로 나타났다. 이것은 T₃ 처리구에서 갑상선호르몬에 의해 혈장 T₃ 농도가 높아졌으며, 이로 인하여 혈장 T의 상승을 초래한 것으로 보여진다. 이에 따라 대조구에서 혈장 T₃가 T 합성에는 관여하지 않고 정자 형성에만 직접적으로 작용하는 반면, 실험구에서는 정자 형성뿐만 아니라 T의 합성까지도 향상시키며, 이렇게 증가된 T는 대조

구에 비하여 정세포에서 정자로의 변태를 더 촉진시킨다는 것을 시사하는 것으로 보인다. 또한 90일째에 대조구에서 대부분 정자가 방출된 반면, 실험구에서는 아직도 정자가 정소 내에 가득 차 있는 것으로 보아, 외인성 T₃에 의한 T 농도의 상승은 정자의 방출을 연장시키는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 T를 처리하였을 때 감성돔과 whitefish(*Coregonus nasus*)에서 정자방출을 연장시킨다는 연구 결과와 일치하는 것으로 나타났다(Christoforov & Murza, 1996).

본 연구에서 1년생의 감성돔의 혈장 E₂는 실험 개시 시인 1월에 12.6 \pm 3.8~13.0 \pm 4.4pg/mL로 가장 높았으나 30일째부터는 1.8 \pm 0.6~4.5 \pm 1.5pg/mL로 감소한 것으로 나타났다. Lee *et al.*(2001)에 따르면 수컷에서 성전환되지 않은 3년생 감성돔의 경우, 혈장 11-KT는 3~4월에, E₂는 10~11월에 최고값을 보임으로써, E₂의 작용이 11-KT나 T에 비해 빠른 것으로 알려지고 있다. 본 연구에서도 혈장 E₂가 T의 작용보다 빨랐는데, 그 이유로는 첫째, 성전환을 위하여 E₂에 의한 난모세포를 성숙시켜야 할 필요성이 있기 때문이다. 본 연구에서 난모세포의 크기는 실험 기간 동안 23.8 \pm 5.8~28.1 \pm 7.0 μm 였다. 그러나 2년생 감성돔의 경우에는 난모세포가 50 μm 이상으로 1년생에 비해 2배 정도 큰 것으로 볼 때(Lee *et al.*, 2000), E₂에 의한 난모세포의 성장이 계속적으로 이루어지고 있음을 알 수 있다. 둘째, 정자 형성 시기 이전에 E₂가 분비되게 함으로써 수컷의 기능에만 충실하기 위한 감성돔의 번식 전략인 것으로 해석된다. 본 연구에서는 1년생의 기능적 수컷을 대상으로 외인성 T₃ 처리하였을 때, 혈장 E₂의 수준 및 난모세포의 크기에 미치는 효과는 없는 것으로 나타났다. 따라서 감성돔의 난소 발달에 미치는 갑상선 호르몬을 효과를 검증하기 위해서는 성전환이 임박한 2년생 이상의 암컷을 사용함과 동시에 다양한 호르몬 농도를 적용해 보아야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서 60일째에 감성돔의 혈장 T₃ 농도가 상승한 반면, T₄ 농도가 감소한 이유는 갑상선 호르몬 중 생리 활성이 더 높은 것으로 알려진 T₃(Higgs *et al.*, 1982; MacKenzie *et al.*, 1993)가 감성돔의 생식소 발달에 작용하기 위하여 5'-mono-deiodinase에 의해 T₄로부터 T₃로 전환되었기 때문인 것으로 여겨진다. Mylonas *et al.*(1994)은 브라운 송어(*Salmo trutta*)에서 난모세포 발달의 후기 단계인 최종 성숙 시기에 혈장 T₃ 수준이 뚜렷이 증가하는 것으로 보고하고 있어 성숙 단계에 따라 T₃가 상승하였던 본 연구의 결과와 경향이 비슷하였다. 또한 브라운 송어와 같은 속인 대서양 연어(*Salmo salar*)에서는 혈장 T₄가 난모세포 발달의 후기 단계에서 증가하지만, 동시에 혈장 T₃는 감소한다고 알려져 있다(Dickhoff *et al.*,

1989). 이상의 결과들을 종합해 볼 때, 어류의 번식에 있어 갑상선 호르몬의 작용 시기 및 종류는 어종에 따라 차이를 나타내는 것으로 보인다.

Corticosteroid는 어류의 번식을 억제한다는 보고가 있다. 틸라피아(*Oreochromis mossambicus*)에서 cortisol 경구 투여 결과, 생식소 크기와 난모세포 성장이 지연되었으며(Foo & Lam, 1993a), 브라운 송어(*Salmo trutta*)와 틸라피아에서는 혈장 내 낮은 수준의 성 스테로이드가 보고되었다(Carragher *et al.*, 1989; Foo & Lam, 1993b). 그러나 Goswamy & Sundararaj (1974)는 잉어(*Cyprinus carpio*)의 난모세포 성숙에 있어 corticosteroid의 역할을 강조하고 있다. 또한 감성돔의 경우, cortisol 처리는 시상하부의 신경세포를 자극하여 생식소 자극 호르몬 방출호르몬(gonadotropin releasing hormone, GnRH) 분비에 직접적인 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(Lee *et al.*, 2004). 본 연구에서 대조구의 경우, 정자 형성 및 산란기 동안에 혈장 cortisol 수준은 변함이 없었으나, 실험구에서는 성숙기인 3월에 그 농도가 상승하였다. 이 결과는 갑상선 호르몬이 시상하부-뇌하수체-갑상선 축을 활성화시키며, 증가된 cortisol은 GnRH 분비를 촉진하는 것으로 여겨지며, 이로 인해 정소 발달 및 정자 형성이 가속화되는 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 외인성 T₃ 처리는 혈장 T의 증가와 정자 형성을 촉진시키며, 방정을 연장시키는 것으로 추측된다. 또한 갑상선 호르몬은 혈장 cortisol을 상승시켜 성숙을 촉진하는 것으로 보이지만, E₂의 분비 촉진 및 난소 발달에는 영향을 미치지 않는 것으로 간주된다. 따라서 앞으로 여러 농도의 T₃를 적용하여 난모세포 발달 효과를 검증한다면, 감성돔의 난소 성숙 및 성전환에 미치는 갑상선 호르몬의 역할을 해명할 수 있을 것으로 판단된다.

인용문헌

- Barr WA (1963) The endocrine control of the sexual cycle in the plaice, *Pleuronectes platessa* (L.). III. The endocrine control of spermatogenesis. *Gen Comp Endocrinol* 3:216-225.
- Biddiscombe S, Idler DR (1993) Plasma levels of thyroid hormones in sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) decrease before spawning. *Gen Comp Endocrinol* 52:467-470.
- Brown CL, Bern HA (1989) Hormones in early development with special reference to teleost fishes. In: *Hormones in Development, Maturation and Senescence of Neuroendocrine Systems* (ed.), Academic Press, New York, pp 289-306.
- Brown CL, Kim BG (1995) Combined application of cortisol and triiodothyronine in the culture of larval marine finfish. *Aquaculture* 135: 79-86.
- Carragher JF, Sumpter JP, Pottinger TG, Pickering AD (1989) The deleterious effects of cortisol implantation on reproductive function in two species of trout, *Salmo trutta* L. and *Salmo gairdneri* Richardson. *Gen Comp Endocrinol* 76:310-321.
- Chakraborty P, Bhattacharya S (1984) Plasma thyroxine levels in freshwater perch: influence of season, gonadotropins and gonadal hormones. *Gen Comp Endocrinol* 53:179-186.
- Chakraborty P, Maitra G, Bhattacharya S (1986) Binding of thyroid hormone to isolated ovarian nuclei from a freshwater perch, *Anabas testudineus*. *Gen Comp Endocrinol* 62:239-246.
- Christoforov OL, Murza IG (1996) Effects of the androgen preparation 'testostenatum' on reproductive function in males of atlantic salmon and several species of whitefish. *Aquatic Living Resources* 9:31-41.
- Crockford SJ (2003) Thyroid rhythm phenotypes and hominid evolution: a new paradigm implicates pulsatile hormone secretion in speciation and adaptation changes. *Comp Biochem Physiol* 135:105-29.
- Cyr DG, Eales JG (1988) Influence of thyroidal status on ovarian function in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J Exp Zool* 248: 81-87.
- Denver RJ (1998) The molecular basis of thyroid hormone-dependent central nervous system remodeling during amphibian metamorphosis. *Comp Biochem Physiol* 119:219-228.
- Dickhoff WW, Yan L, Plisetskaya EM, Sullivan CV, Swanson P, Hara A, Bernard MG (1989) Relationship between metabolic and reproductive hormones in salmonid fish. *Fish Physiol Biochem* 7:147-155.
- Eales JG, Fletcher GL (1982) Circannual cycles of thyroid hormones in plasma of winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) *Can J Zool* 60:304-309.
- Foo JTW, Lam TJ (1993a) Retardation of ovarian growth and depression of serum steroid levels in tilapia, *Oreochromis mossambicus* by cortisol implantation. *Aquaculture* 115:133-143.
- Foo JTW, Lam TJ (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 SV, Sundararaj BI (1974) Effects of C₁₈, C₁₉, and C₂₁

- steroids on *in vitro* maturation of oocytes of the catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch). Gen Comp Endocrinol 23: 282-285.
- Higgs, DA, Fagerlund UHA, Eales JG, McBride JR (1982) Application of thyroid hormones and steroid hormones as anabolic agents in fish culture. Comp Biochem Physiol 73:143-176.
- Hontela A, Dumont P, Duclos D, Fortin R (1995) Endocrine and metabolic dysfunction in yellow perch, *Perca flavescens*, exposed to organic contaminants and heavy metals in the St Lawrence river. Environ Toxicol Chem 14:725-31.
- Hwang SI (1999) Artificial control in sex and reproductive cycle of black seabream, *Acanthopagrus schlegeli*. Ph.D. Thesis, Cheju National University, pp. 120. (in Korean)
- Lau EL, Lin BY, Lee FY, Sun LT, Dufour S, Chang CF (1997) Stimulation of testicular function by exogenous testosterone in male protandrous black porgy, *Acanthopagrus schlegeli*. J Fish Biol 51:327-333.
- Leatherland JF, Sonstegard RA (1980) Seasonal changes in thyroid hyperplasia, serum thyroid hormone and lipid concentrations, and pituitary gland structure in Lake Ontario coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* Walbaum, and a comparison with coho salmon from Lake Michigan Erie. J Fish Biol 16: 539-562.
- Lee YH, Dub JL, Shih YS, Jeng SR, Sun LT, Chang CF (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.
- Lee YH, Du JL, Yueh WS, Lin BY, Huang JD, Lee CY, Lee MF, Lau EL, Lee FY, Morrey C, Nagahama Y, Chang CF (2001) Sex change in the protandrous black porgy, *Acanthopagrus schlegeli*: a review in gonadal development, estradiol, estrogen receptor, aromatase activity and gonadotropin. J Exp Zool 290:715-726.
- Lee YH, Lee FY, Yueh WS, Tacon P, Du JL, Chang CN, Jeng SR, Tanaka H, Chang CF (2000) Profiles of gonadal development, sex steroids, aromatase activity, and gonadotropin II in the controlled sex change of protandrous black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* Bleeker. Gen Comp Endocrinol 119:111-120.
- MacKenzie DS, Moon YH, Gatlin DM (1993) Dietary effects on thyroid hormones in the red drum, *Sciaenops ocellatus*. Fish Physiol Biochem 11: 329-335.
- Maitra G, Bhattacharya S (1989) Seasonal changes of triiodothyronine binding to piscine ovarian nuclei. Zool Sci 6:771-775.
- Methven DA, Crim LW, Norberg B, Brown BA, Goff GP, Huse I (1992) Seasonal reproduction and plasma levels of sex steroids and vitellogenin in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). Can J Fish Aquat Sci 49:754-759.
- Mylonas CC, Sullivan CV, Hinshaw JM (1994) Thyroid hormones in brown trout (*Salmo trutta*) reproduction and early development. Fish Physiol Biochem 13:485-493.
- Norberg B, Bjornsson BT, Brown CL, Wichardt UP, Deftos LJ, Haux C (1989) Changes in plasma vitellogenin, sex steroid, calcitonin, and thyroid hormones related to sexual maturation in female brown trout (*Salmo trutta*). Gen Comp Endocrinol 75:316-326.
- Pickering AD, Christie P (1981) Changes in the concentration of plasma cortisol and thyroxine during sexual maturation of the hatchery-reared brown trout, *Salmo trutta* L. Gen Comp Endocrinol 44: 487-496.
- Scott AP, Bye VJ, Baynes SM, Springate JRC (1980) Seasonal variations in plasma concentrations of 11-ketotestosterone and testosterone in male rainbow trout, *Salmo gairdnerii* Richardson. J Fish Biol 17: 495-505.
- Sower SA, Schreck CB (1982) Steroid and thyroid hormones during sexual maturation of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in seawater or fresh water. Gen comp Endocrinol 47: 24-53.
- Schreiber A, Specker J (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.
- Sullivan CV, Bernard MG, Hara A, Dickhoff WW (1989) Thyroid hormones in trout reproduction: Enhancement of gonadotropin-releasing hormone analogue and partially purified salmon gonadotropin-induced ovarian maturation *in vivo* and *in vitro*. J Exp Zool 250: 188-195.
- Szischka V, Papandroulakis N, Pavlidis M (2005) Ontogeny of the thyroid hormones and cortisol in the gilthead sea bream, *Sparus aurata*. Gen Comp Endocrinol 142:186-192.
- Ueda H, Hiroi O, Hara A, Yamauchi K, Nagahama Y (1984)

- Changes in serum concentration of steroid hormones, thyroxine, and vitellogenin during spawning migration of the chum salmon, *Oncorhynchus keta*. Gen Comp Endocrinol 53:203-211.
- Van Anholt RD, Spanings T, Koven W, Wendelaar Bonga SE (2003) Effects of acetylsalicylic acid treatment on thyroid hormones, prolactins, and the stress response of tilapia (*Oreochromis mossambicus*). Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol 285:1098-1106.