

## 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T<sub>3</sub>) 모체주사에 의한 조피볼락 (*Sebastes schlegeli*) 혈중, 알 및 난황낭 자어의 갑상선 호르몬 농도 변화

장영진 · 강덕영  
부경대학교 수산과학대학 양식학과

## Maternal Injection of 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T<sub>3</sub>) Causes Changes of Thyroid Hormone Levels in Plasma, Eggs and Yolk-sac Larvae in Female Rockfish (*Sebastes schlegeli*)

Young Jin CHANG and Duk Young KANG

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

The changes of thyroid hormone levels in plasma, eggs and yolk-sac larvae in female rockfish (*Sebastes schlegeli*) were examined after maternal injection of 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T<sub>3</sub>) with a dose of 20 mg/kg fish wt. There were no differences of L-thyroxine (T<sub>4</sub>) level in maternal plasma and yolk-sac larvae between T<sub>3</sub> injection and vehicle-injected control. The significant decrease of T<sub>4</sub> level was found in eggs from the T<sub>3</sub> injected mother fish compared with that of control. T<sub>3</sub> levels in maternal plasma, eggs, and yolk-sac larvae were significantly elevated by T<sub>3</sub> injection. Therefore T<sub>4</sub> and T<sub>3</sub> in maternal circulation may be transferred into oocytes and subsequently into the yolk-sac larvae. These findings suggest that thyroid hormones may play some roles on physiological metabolism during early larval development of rockfish.

**Key words:** rockfish, *Sebastes schlegeli*, triiodothyronine, maternal injection, T<sub>3</sub>-transference

### 서 론

갑상선 호르몬 (thyroid hormones; THs)은 경골어류의 번식주기와 관련하여 모체내에서 그 농도가 변화하며 (Kang et al., 1998), 알과 자어에서도 상당량의 THs가 존재하면서 (Kobuke et al., 1987; Sullivan et al., 1987; Tagawa and Hirano, 1987; Brown et al., 1988, 1989; Greenblatt et al., 1989; Tagawa et al., 1990) 초기발생에 관여 (Higgs, 1982; Brown and Bern, 1989)하는 것으로 알려지고 있다. 이것은 THs가 어류의 초기 생활사 동안 개체발달에 영향을 미친다는 것을 의미한다.

특히, THs 중 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T<sub>3</sub>)은 L-thyroxine (T<sub>4</sub>) 보다 생리활성이 높고 5'-monodeiodinase 효소에 의해 T<sub>4</sub>로부터 유도되기 때문에 (MacLatchy and Eales, 1992), 이 호르몬이 어류 자어의 정상적인 성장을 위해 필요한 조절물질의 하나인 것으로 여겨진다.

또한 THs는 난모세포의 난황형성 시기에 어미의 순환계를 통하여 난소로 유입되어 배체나 자어의 난황에 존재하면서 (Brown et al., 1987; Reddy et al., 1992), 어류의 초기성장과 조직분화에 중요한 역할을 하는 것으로 보고되고 있다 (Eales, 1979; Brown and Bern, 1989; Lam, 1994).

이러한 THs의 생리적 기능을 응용하여 성숙시기의 어미에게 주입된 외인성 THs가 난황낭 자어에게 전이되도록 유도함으로써, 자어의 생리활성과 생존율을 향상시키려는 연구가 활발하다. 또한 이 호르몬의 투여방법이나 적정농도 및 투여시기 등에 관한 실용적 자료를 얻기 위한 연구도 계속되고 있다. 실제로 rabbitfish (*Siganus guttatus*) (Ayson and Lam, 1993), striped bass (*Morone saxatilis*) (Brown et al., 1988), goldstriped amberjack (*Seriola lalandi*) (Tachihara et al., 1996) 및 돌돔 (*Oplegnathus fasciatus*) (El-Zibdeh et al., 1996)에서 배란전의 암컷 어미에 주사한 THs가 알로 전달되어 자어의 초기발달 및 생존율 향상에 유의한 영향을 나타냈다는 연구 결과가 다수 보고된 바 있어, 그 밖의 어종에 대하여 이 호르몬의 적용 가능성이 검토되고 있다. 이와 같이 어류에 대한 THs의 효과가 국제적으로 활발히 연구되어 왔음에도 불구하고, 이와 관련한 국내의 연구는 갓 시작된 단계에 있고 (Kang and Chang, 1996, 1997), 더욱이 조피볼락, 황점볼락, 볼락과 같이 새끼를 출산하는 어류에 있어 THs의 응용 가능성에 대하여는 검토된 바 없다.

그러므로 본 연구에서는 조피볼락 (*Sebastes schlegeli*)의 종묘생산시 THs의 적용 가능성을 알아보기 위하여,

암컷 어미에게  $T_4$  보다 생리활성이 높은  $T_3$ 를 주사한 후 어미의 혈장, 알 및 출산자어의  $T_4$ 와  $T_3$  농도변화를 조사함으로써,  $T_3$ 의 모체주사에 의한 알과 자어로의 전이 가능성을 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 어미

본 연구에 사용된 조피볼락은 양식산 4년생으로 교미를 마친 난황형성기의 암컷 어미(전장  $46.1 \pm 0.5$  cm, 체고  $16.5 \pm 0.2$  cm, 체중  $2,137 \pm 45$  g) 20마리였다.

### 2. 실험구

본 연구를 위해 실험어를 5마리씩 2반복으로  $T_3$ 주사구와 대조구로 나누어 비교 분석하였다. 실험에 사용된 호르몬은  $T_3$  sodium salt (Sigma)로서 이를 dimethyl sulfoxide (DMSO)에 200 mg/ml의 농도로 용해한 다음, Brown et al. (1989)의 방법에 따라 난황형성기인 2월에 조피볼락 어미에게  $20 \pm 3$  mg  $T_3$ /kg 체중으로 주사하였고, 동일 성숙상태의 대조구 어미에게 DMSO만을 개체별로 0.1 ml/kg 체중으로 주사하였다.

### 3. 암컷 어미의 혈장, 알 및 자어의 수집

난황형성기의 조피볼락 어미에게 외인성  $T_3$  주사후 24시간, 48시간, 72시간 간격으로  $T_3$ 구와 대조구 어미의 미부동맥으로부터 해파린 처리 주사기를 사용해 채혈한 다음, 4°C에서 10분 동안 10,000 rpm으로 원심분리하여 혈장을 얻었다. 알과 자어로의 전달여부를 파악하기 위해 주사후 30일 경과시의 알을 cannula로 샘플하고, 60일 경과시의 갓 출산된 자어를 각각 200 mg씩 취하여 -70°C에 보관하였다.

### 4. THs의 추출과 radioimmunoassay (RIA)

어미의 혈중  $T_4$ 와  $T_3$ 의 분석은 Aida et al. (1984)의 방법에 따라 혈장을 전처리한 다음, 표지호르몬으로 각각  $^{125}$ I- $T_4$  (Amersham International Ltd.),  $^{125}$ I- $T_3$  (Amersham International Ltd.)를, 항체로는 각각  $T_4$ -항체 (Wien Laboratories Inc.)와  $T_3$ -항체 (Endocrine Sciences, Tarzana, CA)를 사용하여 RIA를 실시하였다. 조피볼락 혈장의 단계별 희석액의  $T_4$ 와  $T_3$  농도는 각각 standard 곡선에 평행상을 나타냈다 (Fig. 1).

알과 자어의 조직중 THs는 Tagawa and Hirano (1987)의 methanol/chloroform법에 의해 추출한 다음, RIA를 통해 조직중의  $T_4$ 와  $T_3$  농도를 측정하였다. 이

때 추출효율 (extraction efficiency)은  $T_4$  51~67%,  $T_3$  55~59%였다. RIA에 의한 intraassay coefficient of variation은 3.8 (n=4)이었고, interassay coefficient of variation은 2.4 (n=8)였다. Fig. 2는  $T_4$ 와  $T_3$ 의 standard 검정곡선으로 methanol/chloroform 추출에 의한 알과 자어의 추출물은  $T_4$ 와  $T_3$ 의 standard 곡선에 평행하게 나타나 간섭물질이 존재하지 않음을 알 수 있었다.

### 5. 통계처리

자료의 분석은 SPSS-PC 통계패키지를 이용하여 ANOVA 및 Duncan's multiple range test에 의하였다.

## 결과

### 1. 혈장의 $T_4$ 와 $T_3$ 농도

외인성  $T_3$ 를 조피볼락 어미에 주사한 후 72시간까지 모체내의 THs 변동양상,  $T_3$  전달 및 어체내 잔존 여부를 파악해 본 결과는 다음과 같다.

우선 어미의 혈중  $T_4$  농도는 모체주사전 42.9~

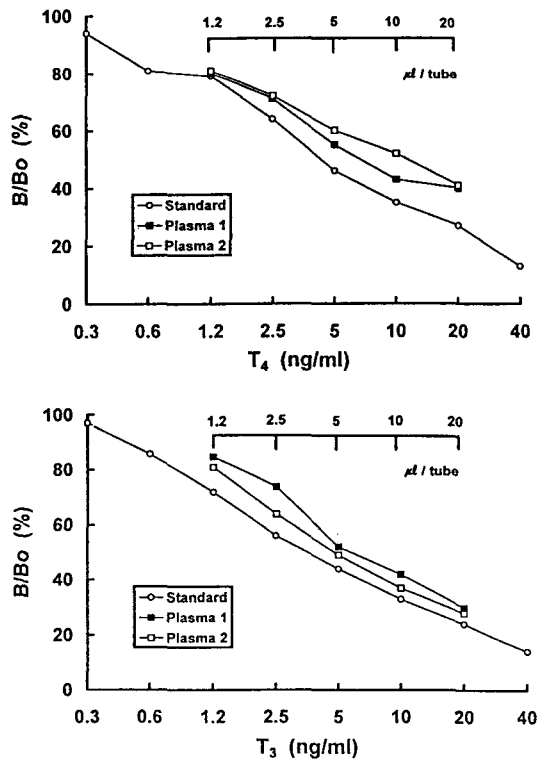


Fig. 1. Competitive binding curves for plasma of *Sebastes schlegelii* in  $T_4$  and  $T_3$  RIA.

72.3 ng/ml이었으나, 주사후 1일째 T<sub>3</sub>구가 대조구에 비해 높은 T<sub>4</sub> 농도를 나타낸 것을 제외하고는 두 실험구 모두에서 시간 경과에 따른 일정한 경향을 파악할 수 없었다 (Fig. 3).

어미의 혈중 T<sub>3</sub> 농도는 대조구의 경우 주사전에 68.5 ± 28.2 ng/ml이었고, 주사후 24시간째에 91.7 ± 19.1 ng/ml

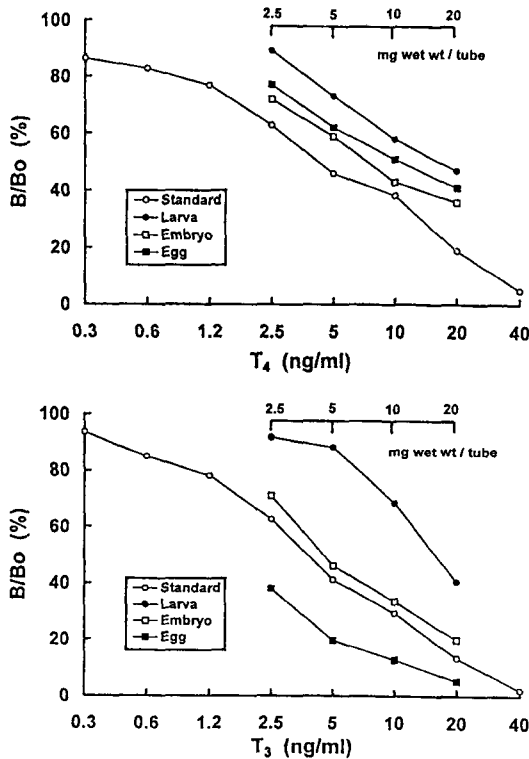


Fig. 2. Competitive binding curves for methanol/chloroform extracts of eggs, embryos and larvae of *S. schlegeli* in T<sub>4</sub> and T<sub>3</sub> RIA.

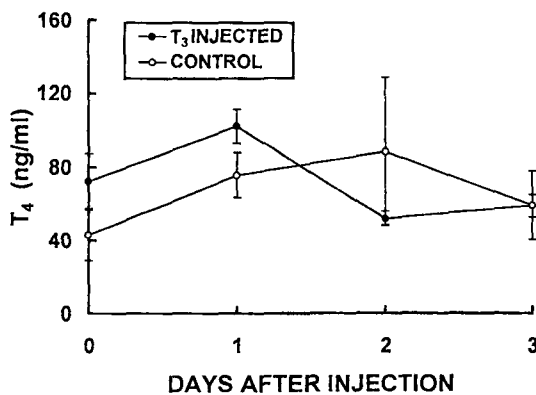


Fig. 3. Daily changes in T<sub>4</sub> levels of maternal plasma of *S. schlegeli* before (0 day) and after T<sub>3</sub> injection.

으로 다소 증가하였으나 주사전과 유의한 차이가 없었으며, 그후 시간이 경과하여도 비슷한 수준을 나타내었다. 그러나 T<sub>3</sub>구에서는 주사전에 92.6 ± 8.5 ng/ml이었으나, 주사후 24시간째에는 2.8 ± 0.1 μg/ml로 주사전 보다 40 배 가량 증가한 데다 (P<0.01), 대조구와도 큰 차이를 나타내었다. 이후 이 농도는 지속적으로 유지되어 주사후 48시간 및 72시간째까지도 역시 2 μg/ml 이상의 농도를 나타냈다 (Fig. 4).

2. 알과 자어의 T<sub>4</sub>와 T<sub>3</sub> 농도

알의 T<sub>4</sub> 농도는 T<sub>3</sub>구 27.7 ± 7.7 ng/g, 대조구 57.7 ± 9.0 ng/g으로 대조구 보다 T<sub>3</sub>구에서 유의하게 낮은 농도를 보였다 (P<0.05). 출산자어에서는 T<sub>3</sub>구 7.4 ± 0.6 ng/g, 대조구 8.5 ± 2.5 ng/g으로 서로 유의한 차이를 보이지 않았다 (Fig 5).

알의 T<sub>3</sub> 농도는 T<sub>3</sub>구에서 2.1 ± 0.7 μg/g으로 대조구

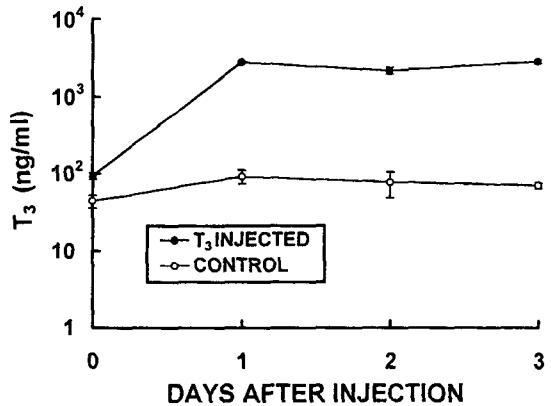


Fig. 4. Daily changes in T<sub>3</sub> levels of maternal plasma of *S. schlegeli* before (0 day) and after T<sub>3</sub> injection.

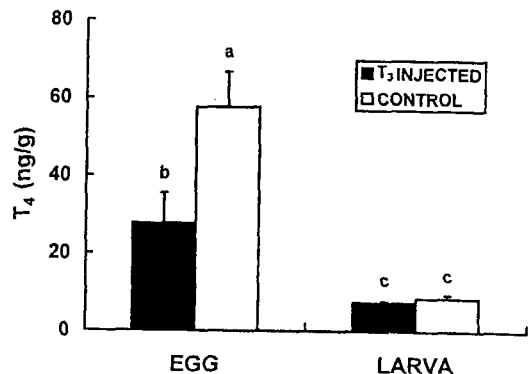


Fig. 5. T<sub>4</sub> levels in eggs and larvae of *S. schlegeli* after maternal injection of T<sub>3</sub>. Different superscripts on the bars are significantly different (P<0.05).

( $0.4 \pm 1.0 \mu\text{g/g}$ ) 보다 6배 정도의 높은 농도를 보였다 ( $P < 0.01$ ). 출산자어에서는  $T_3$ 구  $95.0 \pm 11.7 \text{ ng/g}$ , 대조구  $14.3 \pm 3.6 \text{ ng/g}$ 로 알에서와 같이  $T_3$ 구가 대조구 보다 여전히 높은 농도를 유지하고 있었다 ( $P < 0.01$ ) (Fig. 6).

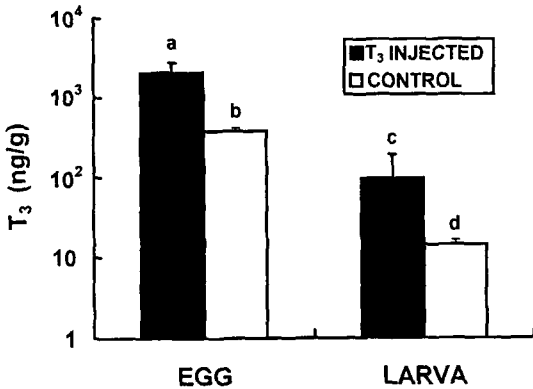


Fig. 6.  $T_3$  levels in eggs and larvae of *S. schlegelii* after maternal injection of  $T_3$ . Different superscripts on the bars are significantly different ( $P < 0.01$ ).

## 고 찰

본 연구에서  $T_3$ 를 조피볼락 어미에 주사한 결과, 주사 후 72시간까지 어미의 혈중  $T_4$  농도는  $T_3$ 구와 대조구 사이에서 시간경과에 따라 일정한 경향을 나타내지 않아, 외인성  $T_3$ 가 주사후 3일까지는 혈중  $T_4$  농도변화에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 그러나 외인성  $T_3$  처리에 따른 혈중  $T_4$  농도의 감소를 육상 척추동물인 chicken (Vasilatos-Younken et al., 1997), 경골어류인 brook charr, *Salvelinus fontinalis* (Scott-Thomas et al., 1992) 및 무지개송어, *Oncorhynchus mykiss* (Eales et al., 1990)에서 관찰할 수 있는데, 이들 연구자들은 외인성  $T_3$ 의 feedback effect에 의한 갑상선에서  $T_4$  생산 억제에 따른 것으로 보고 있다 (Eales et al., 1990; Vasilatos-Younken et al., 1997). 한편 대조구에서의 혈중  $T_3$  농도는 전 실험기간중 큰 변화를 보이지 않았으나,  $T_3$ 구에서는 주사후 24시간째에 40배 가량 증가하여 주사후 72시간까지도 지속적으로 높은 혈중농도를 유지하고 있었다. 이는 근육 주사된 외인성  $T_3$ 가 어미의 혈관계로 유입되어 72시간까지 지속적으로 체류하거나, 혈액내로 유입된 외인성  $T_3$ 에 대한 체내 조절이 아직 이루어지지 않았기 때문으로 추측된다.

어류의 미수정란에 존재하는 THs는 난황전구물질과

함께 어미의 순환계로부터 발달중인 난모세포에 유입된 것이며 (Ayson and Lam, 1993; Sullivan et al., 1987; Brown et al., 1988, 1989; Greenblatt et al., 1989; Tagawa et al., 1990), 이것이 수정후 자어에게 전이되는 것으로 밝혀지고 있다 (Brown et al., 1988). 이와 같이 전이된 THs는 부화 또는 출산직후 자어의 성장과 생존에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나, 몇몇 연구자들은 이 호르몬을 인위적으로 모체에 주입해 알과 자어로 전이시켜, 자어의 성장과 생존율을 향상시키고자 하였다 (Ayson and Lam, 1993; Brown et al., 1988; El-Zibdeh et al., 1996; Tachihara et al., 1996). 본 연구에서 외인성  $T_3$ 를 주사했던 조피볼락 모체내 알과 자어의  $T_3$  농도가 대조구 보다 높게 나타남으로써, 어미의 혈장내 외인성  $T_3$ 가 알에 유입되어 자어로 전이된 것으로 추정할 수 있었다. 이것은 어미의 혈액에 존재하는 외인성 THs가 산란 전에 난소로 전이된다는 Ayson and Lam (1993), Brown et al. (1988), El-Zibdeh et al. (1996) 및 Tachihara et al. (1996)의 연구 결과와 일치한다. 그러므로 (1) 외인성  $T_3$  주사가 어미의 혈장  $T_3$  농도를 높여주며, (2) 증가된 어미의 혈장  $T_3$ 는 난모세포의 성숙기에 난황과 함께 난모세포로 유입되어 자어로 전이될 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 어미의 THs가 알로 전이되는 과정이 일부 어종에서 밝혀지고 있으나, 조피볼락의 경우 이에 대한 연구가 이루어져 있지 않아, 앞으로 이에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

한편 경골어류에서  $T_4$ 는 갑상선으로부터 1차적 THs로서 분비되고 (Chan and Eales, 1976; Grau et al., 1986), 이것이 혈중이나 조직에서 5'-monodeiodinase에 의해  $T_3$ 로 전환된다 (Shields and Eales, 1986; MacLachy and Eales, 1992). 그러므로, 일부 연구자들은  $T_4$ 를  $T_3$ 의 prohormone인 것으로 여기고 있다. 그러나 혈중이나 조직중에  $T_3$ 가 과다한 경우, feedback effect에 의해 갑상선에서  $T_4$  분비를 억제 (Eales et al., 1990; Vasilatos-Younken et al., 1997)하거나 5'-monodeiodinase 활성을 감소 (Eales et al., 1990)시켜  $T_3$  생성을 제한하는 것으로 알려져 있다. 본 연구의 경우, 외인성  $T_3$  주사 72시간 이후의 혈중 THs 농도변화를 파악하지 못했지만, 지속적인 외인성  $T_3$  유입에 의한 농도 증가는 갑상선의  $T_4$  분비저하, 혈중농도 감소, 난황형성기에 난모세포내로 유입되는  $T_4$  함량 감소와 같은 일련의 과정을 유발할 수도 있기 때문에,  $T_3$  처리구의 알내  $T_4$  농도가 대조구 보다 낮게 나타날 가능성은 배제할 수 없다. 그러나 본 연구에서 이에 대한 구체적인 근거 자료를 제시할 수 없으므로, 앞으로 보다 깊이 있는 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

난황에 저장된 THs와 그의 호르몬은 자어발달에 영향을 미치는 물질인 것으로 알려져 있다 (Kobuke et al., 1987; Tagawa and Hirano, 1987; Brown et al., 1987). 그러나 THs가 어류의 배 형성 (embryogenesis)에 영향을 미치는 구체적인 과정은 아직 밝혀진 바 없지만, 잉어 (*Cyprinus carpio*) 알의 부화율과 생존율 증진 (Lam and Sharma, 1985) 및 chum salmon (*O. keta*) 알의 부화 촉진 (Dales and Hoar, 1954; Ali, 1961)에 관련성이 제시되어, THs의 존재는 어류의 초기 생활사, 특히 배체 발달기에 영향을 미칠 가능성이 높다.

본 연구에서 T<sub>3</sub>구와 대조구 모두에서 출산자어가 알에 비해 낮은 T<sub>4</sub>와 T<sub>3</sub> 농도를 나타낸 것은 Ayson and Lam (1993)이 언급한 바와 같이, 배체 형성기 동안 T<sub>4</sub> 및 T<sub>3</sub>의 이용증대 또는 계외로의 수동적 배출에 따른 것으로 추측된다. Rabbitfish 자어의 경우, 부화후 24시간 이내에 거의 90%에 이르는 난황의 감소와 함께 T<sub>4</sub>와 T<sub>3</sub> 농도의 현저한 감소가 관찰되었다 (Ayson, 1987). 더욱이 부화직후 은연어 (*O. kisutch*) 자어에서는, THs의 96%가 난황에 존재하면서 난황흡수와 함께 감소함으로써, 단지 4%의 호르몬만이 자어의 조직에 존재하는 것으로 나타나 (Kobuke et al., 1987), 본 연구의 결과를 뒷받침해 주고 있다. 또한 chum salmon (Tagawa and Hirano, 1987)과 넙치 (*Paralichthys olivaceus*) (Tagawa et al., 1990)에서도 난황흡수와 동시에 THs의 현저한 감소가 관찰된 바 있어, 흡수된 THs는 배체나 자어의 발달에 영향을 미치는 것으로 보인다.

이상의 결과 및 고찰을 종합하여 볼 때, 모체주사된 외인성 T<sub>3</sub>는 조피볼락 어미의 혈장 T<sub>3</sub> 농도를 높여주며, 순환계내의 T<sub>3</sub>가 난소로 전이되어 부화자어의 체내에 체류함을 알 수 있었다. 일반적으로 난생 경골어류에서 THs가 자어 발생 및 변태에 영향을 미친다는 점을 고려해 볼 때, 외인성 T<sub>3</sub>의 모체주사에 의해 조피볼락 자어의 생리활성을 증대시킬 수 있을 것이며, 종묘생산시 건강한 종묘의 생산 가능성이 높을 것으로 보인다.

## 요 약

조피볼락 암컷의 난황형성기에 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T<sub>3</sub>)을 20 mg/kg 체중으로 모체주사하여 어미의 혈중 THs 농도변화 및 알과 출산자어의 THs 전이여부를 조사하였다. L-thyroxine (T<sub>4</sub>)의 경우, 어미의 혈중 및 출산직후 자어에서 T<sub>3</sub>구와 대조구 사이에 농도 차이를 파악할 수 없었지만, 알에서는 T<sub>3</sub>구가 대조구 보다 낮은 T<sub>4</sub> 함량을 나타냈다. 어미에게 T<sub>3</sub>를 주사한 결과, 외인성 T<sub>3</sub>

가 24시간 이내에 어미의 혈중으로 빠르게 흡수되어 난소로 전이된 다음, 출산직후의 난황낭 자어에서도 지속적으로 체류하는 것으로 파악되었다. 일반적으로 난생 경골어류에서 THs가 자어 발생 및 변태에 영향을 미치는 점을 고려해 볼 때, 외인성 T<sub>3</sub>의 모체주사에 의해 조피볼락 자어의 생리활성을 증대시킬 수 있을 것이며, 종묘생산시 건강한 종묘의 생산 가능성이 높을 것으로 보인다.

## 사 사

이 논문은 1996년 교육부 학술연구조성비 (수산과학 : KIOS-96-F-13)에 의해 연구되었으며, 연구비를 지원하여 주신 데 대하여 깊이 감사드립니다. 또한 호르몬 분석에 협조와 조언을 아끼지 않으신 日本 東京大學 農學生命科學研究科 會田勝美 교수와 손영창 씨께 사의를 표합니다.

## 참 고 문 헌

- Aida, K., T. Kato and M. Awaji. 1984. Effects of castration on the smoltification of precocious male masu salmon *Oncorhynchus masou*. Bull. Japan Soc. Sci. Fish., 50, 565~571.
- Ali, M.A. 1961. Effect of thyroxine plus thiourea on the early development of chum salmon (*Oncorhynchus keta*). Nature, 191, 1214~1215.
- Ayson, F.G. 1987. The effect of stress on spawning and subsequent survival of the rabbitfish, *iganus guttatus* (Bloch) larvae. MS Thesis, Univ. of the Philippines, p. 30.
- Ayson, F.G. and T.J. Lam. 1993. Thyroxine injection of female rabbitfish (*iganus guttatus*) broodstock: changes in thyroid hormone levels in plasma, eggs, and yolk-sac larvae, and its effect on larval growth and survival. Aquaculture, 109, 83~93.
- Brown, C.L. and H.A. Bern. 1989. Thyroid hormones in early development with special reference to teleost fishes. In *Development, Maturation, and Senescence of Neuroendocrine Systems: A Comparative Approach* (Eds. by M.P. Schreibman and C.G. Scanes), Academic Press, New York, pp. 289~306.
- Brown, C.L., C.V. Sullivan, H.A. Bern and W.W. Dickhoff. 1987. Occurrence of thyroid hormones in early developmental stages of teleost fish. Am. Fish. Soc. Symposium, 2, 144~150.
- Brown, C.L., S.I. Doroshov, J.M. Nunez, C. Hadley, J. Vaneenennaam, R.S. Nishioka and H.A. Bern. 1988. Maternal triiodothyronine injections cause increases

- in swimbladder inflation and survival rates in larval striped bass, *Morone saxatilis*. J. Exp. Zool., 248, 168~176.
- Brown, C.L., S.I. Doroshov, M.D. Cochran and H.A. Bern. 1989. Enhanced survival in striped bass fingerlings after maternal triiodothyronine treatment. Fish. Physiol. Biochem., 7, 295~299.
- Chan, H.H. and J.G. Eales. 1976. Identification of iodo-amino acids in the plasma and bile of brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill). Can. J. Zool. 53, 97~101.
- Dales, S. and W.S. Hoar. 1954. Effect of thyroxine and thiourea on the early development of the chum salmon (*Oncorhynchus keta*). Can. J. Zool., 32, 244~251.
- Eales, J.G. 1979. Thyroid function in cyclostomes and fishes. In *Hormone and Evolution Vol. 1* (Ed. by E.J. W. Barrington), Academic Press, New York, pp. 341~346.
- Eales, J.G., D.A. Higgs, L.M. Uin, D.L. MacLachy, O. Bres, J.R. McBride and B.S. Dosanjh. 1990. Influence of dietary lipid and carbohydrate levels and chronic 3,5,3'-triiodo-L-thyronine treatment on thyroid function in immature rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Gen. Comp. Endocrinol., 80, 146~154.
- El-Zibdeh, M.K., K. Tachihara, Y. Tsukashima, M. Tagawa and A. Ishimatsu. 1996. Effect of triiodothyronine injection of broodstock fish on seed production in cultured seawater fish. Suisanzoshoku, 44, 487~496.
- Grau, E.G., L.H.M. Helms, S.K. Shimoda, C.A. Food, J. LeGrand and K. Yaminski. 1986. The thyroid gland of the Hawaiian parrot-fish and its uses as an *in vitro* model system. Gen. Comp. Endocrinol., 61, 100~108.
- Greenblatt, M., C.L. Brown, M. Lee, S. Dauder, and H.A. Bern. 1989. Changes in thyroid hormone levels in eggs and larvae and in iodide uptake by eggs of coho and chinook salmon, *Oncorhynchus kisutch* and *Oncorhynchus tshawytscha*. Fish Physiol. Biochem., 6, 261~278.
- Higgs, D.A., U.H.M. Fagerlund, J.G. Eales and J.R. McBride. 1982. Application of thyroid and steroid hormones as anabolic agents in fish culture. Comp. Biochem. Physiol., 73B, 143~176.
- 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 schlegelii*. J. Aquaculture, 9, 215~222. (in Korean)
- Kang, D.Y. and Y.J. Chang. 1997. Effects of exogenous thyroid hormone (T<sub>3</sub>) on skeletal development and physiological conditions of juvenile black seabream (*Acanthopagrus schlegelii*). J. Korean Fish. Soc., 30, 305~312. (in Korean)
- Kang, D.Y., Y.J. Chang, Y.C. Sohn and K. Aida. 1998. Changes in plasma levels of thyroid and sex steroid hormones in rockfish (*Sebastes schlegelii*) during maturation and parturition periods. J. Korean Fish. Soc., 31, 574~580. (in Korean)
- Kobuke, L., J.L. Specker and H.A. Bern. 1987. Thyroxine content in eggs and larvae of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. J. Exp. Zool., 242, 89~94.
- Lam, T.J. 1994. Hormones and egg/larval quality in fish. J. World Aquacult. Soc., 25, 2~12.
- Lam, T.J. and R. Sharma. 1985. Effect of salinity and thyroxine on larval survival, growth and development in the carp, *Cyprinus carpio*. Aquaculture, 44, 201~212.
- MacLachy, D.L. and J.G. Eales. 1992. Properties of 5'-deiodinating systems in various tissues of the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Gen. Comp. Endocrinol., 86, 313~322.
- Reddy, P.K., C.L. Brown, J.F. Leatherland and T.J. Lam. 1992. Role of thyroid hormones in tilapia larvae (*Oreochromis mossambicus*): II. Changes in the hormones and 5'-monodeiodinase activity during development. Fish Physiol. Biochem., 9, 487~496.
- Scott-Thomas D.A.F., J.S. Ballantyne and J.F. Leatherland. 1992. Interactive effects of high stocking density and triiodothyronine-administration on aspects of the *in vivo* intermediary metabolism and *in vitro* hepatic response to catecholamine and pancreatic hormone stimulation in brook charr, *Salvelinus fontinalis*. J. Exp. Zool., 263, 68~82.
- Shields, C.A. and J.G. Eales. 1986. Thyroxine 5'-monodeiodinase activity in hepatocytes of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Distribution, effects of starvation and exogenous inhibitors. Gen. Comp. Endocrinol., 63, 334~343.
- Sullivan, C.V., R.N. Iwamoto and W.W. Dickhoff. 1987. Thyroid hormone in blood plasma of developing salmon embryos. Gen. Comp. Endocrinol., 65, 337~345.
- Tachihara, K., M.K. El-Zibdeh and A. Ishimatsu. 1996. Effect of triiodothyronine (T<sub>3</sub>) injection on seed production of goldstriped amberjack (*Seriola lalandi*). In "Survival strategies in early life stages of marine resources: proceedings of an international workshop/Yokohama, Japan. 1994" (Eds. by Y. Watanabe, Y. Yamashita and Y. Oozeki), A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 39~48.
- Tagawa, M. and T. Hirano. 1987. Presence of thyroxine in eggs and changes in its content during early development of chum salmon, *Oncorhynchus keta*. Gen. Comp. Endocrinol., 68, 129~135.
- Tagawa, M. and T. Hirano. 1990. Changes in tissue and blood concentrations of thyroid hormones in developing chum salmon. Gen. Comp. Endocrinol., 76, 437~443.
- Vasilatos-Younken, R, E.A. Dunnington, P.B. Siegel and J. P. McMurtry. 1997. Tissue-specific alterations in insulin-like growth factor-I concentrations in response to 3, 3',5-triiodo-L-thyronine supplementation in the growth hormone receptor-deficient sex-linked dwarf chicken. Gen. Comp. Endocrinol., 105, 31~39.