

출산기 모체에게 triiodothyronine (T₃) 주사하여 얻은 조피볼락, *Sebastes schlegeli* 자어의 성장 및 활성

강덕영 · 장영진*⁺ · 허준욱* · 민병화*
국립수산과학원, *부경대학교 양식학과

Growth and Activities of Larvae Born from the Triiodothyronine-Injected Parturient Rockfish, *Sebastes schlegeli*

Duk-Young KANG, Young Jin CHANG*⁺, Jun Wook HUR* and Byung Hwa MIN*

National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea
*Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

We have experimentally evaluated the content of thyroid hormones (THs), the growth and activity of larval rockfish (*Sebastes schlegeli*) born from parturient mother fish injected with 20 µg/g BW of 3,5,3-triiodo-L-thyronine (T₃). There was no difference of L-thyroxine (T₄) levels between controls (sham control and control) and T₃ groups in yolk-sac larvae just born from broodstock, while T₃ level of T₃ group was significantly increased compared with controls. In addition, the both larval T₃ and T₄ levels in T₃ group were always higher than those of control during experimental period. Also, there were significant differences in the development of larvae from the two groups. The larval growth in total length and body weight according to the elapsed days after parturition showed the linear and curve equations, respectively, and the slopes of T₃ group were significantly higher than those of control. The survival rate of larvae in T₃ group was higher than that of control. Although the survival rate in T₃ group under the condition of starvation was significantly depressed compared with the control, larval swimming index in T₃ group was higher than control. Finally, these findings suggest that the exogenous T₃ could be transferred into hatched larvae in parturient rockfish by maternal injection, and subsequently the exogenous hormone could play some roles on physiological metabolism of larva after parturition and may confer a distinct advantage to the fragile larvae during the early developmental stage.

Key words: Rockfish, *Sebastes schlegeli*, Maternal triiodothyronine injection, Parturient larva, Growth, Aquaculture

서 론

어류양식에 있어 종묘생산의 성공 여부는 부화자어의 섭식개시, 정상적인 성장과 발달에 의한 건강종묘의 대량생산에 달려있다. 이를 위해 일차적으로 자어의 먹이섭취와 영양원의 효율적 소화흡수에 의한 성장과 발달이 이루어져야 한다. 그러므로 초기 발달 기간 동안 어류의 변태와 성장에 관련된 내분비 시스템의 기능적 변화를 이해하는 것은 매우 중요하다. 특히 생체 내분비 시스템 중 갑상선호르몬 (thyroid hormones: THs)은 척추동물의 소화관 상피세포의 변화 (Shi and Brown, 1993; Tan et al., 2001), 변태 (Galton, 1988), 초기발달과 성장 (Miwa et al., 1988; Tanaka et al., 1991; Kimura et al., 1992; Kang and Chang, 1997) 등에 관여하는 것으로 알려져있다. 한편 어류의 배체에 대한 추가적인 THs 공급은 대상 개체의 성장, 생존율 및 난황흡수율을 증가시킬 수 있으며 (Reddy and Lam, 1992; Brown and Kim, 1995), 어미에게서 받은 알과 난황낭 자어의 THs (Tagawa et al., 1990)는 암컷 어미의 혈장 내 THs 농도조절에 의해 변화됨으로써 (Brown et al., 1989; Tagawa and Hirano, 1989; Ayson and Lam, 1993; Chang and Kang, 1998) 자어의 발달과 성장에 영향을 미친다. 이러한 효과는 Brown et al. (1988), Ayson and Lam (1993) 및 Kang and Chang (1998)의 연구 결과에서 확인할 수 있으며,

모체주사를 통한 외인성 THs가 자어의 초기 발달과 생존율에 긍정적인 효과를 지니고 있어, 종묘 생산시 활용 가능성이 높다. 그러나 THs 모체주사법은 난황형성기의 어미에게 주사했을 때만 난모세포로 전이, 부화자어 상태에서 활성을 나타내기 때문에, 처리 후 오랜 시간의 어미 관리가 요구된다는 어려움이 있어, 이에 보다 손쉬운 취급법의 개발이 요구되고 있다.

조피볼락, *Sebastes schlegeli*을 포함한 *Sebastes* 속의 어류는 난생어류와 달리 어미의 체내에서 부화하고, 약 3~4일간 난소 내에서 물질대사를 하면서 머문 뒤 출산되는 번식특성 (Boehlert and Yoklavich, 1984; Boehlert et al., 1986; Shimizu et al., 1991)을 지니고 있어, 외인성호르몬을 주입하는 방법으로 출산직전 모체주사법의 적용을 고려해 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 출산직전 조피볼락 어미를 대상으로 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T₃)을 주사하여 외인성 T₃의 자어 전이 여부, 이에 따른 자어의 성장, 활력 및 생존율 등에 미치는 영향의 분석을 통하여 종묘생산시 활용가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

1. 실험구 설정 및 어미 관리

본 연구에 사용된 어미는 부화자어를 보유한 출산전 조피볼락 암컷 (전장 45.6 ± 1.5 cm, 체중 1,910 ± 134 g) 30마리로서, 실험을 위해 출산 전까지 친어수조에서 사육 관리하였다. 그리고 외인성

*Corresponding author: yjchang@pknu.ac.kr

T₃ 모체주사에 따른 효과를 파악하기 위해, T₃를 주사한 어미 10마리 (T₃구)와 T₃를 주사하지 않은 2개의 대조구 어미 각각 10마리 (Sham구 및 Control구)로 실험구를 설정하였다. 실험에 사용된 호르몬은 T₃ free acid (Sigma)로서 이를 dimethyl sulfoxide (DMSO)에 20 mg/mL의 농도로 용해한 다음, Brown et al. (1989)의 방법에 따라 출산기인 4월에 조피볼락 어미에게 체중 kg당 20 ± 3 mg씩 주사하였고, Sham구의 어미에게는 DMSO만을 개체별로 체중 kg당 0.1 mL씩 주사하였다. 그리고 나머지 Control구는 가짜 주사효과를 내기 위해 바늘로 근육을 찔러만 주었다. 이후 어미들은 실험구별 어미 수조에 수용한 후 수온 14~15°C의 상태로 사육 관리하였다.

2. 출산 자어의 호르몬 농도 분석

출산직전 어미에게 외인성 T₃를 주사한 다음 출산된 자어를 수집하였다. 수집된 자어는 표피에 묻은 염분을 제거하기 위해 증류수로 세척한 후, 깨끗한 gauze를 이용해 수분을 제거해 주었다. 이렇게 준비된 생체시료는 실험구별로 200 mg 정도에 해당하는 whole body 개체들을 취하여 호르몬 추출과 분석 때까지 -70°C에서 보관하였다. 자어의 전어체 조직중 T₄와 T₃는 Tagawa and Hirano (1987)의 methanol/chloroform법을 통하여 추출하고, RIA 분석에서 표지호르몬으로는 각각 ¹²⁵I-T₄ (Amersham International Ltd.), ¹²⁵I-T₃ (Amersham International Ltd.)를, 항체로는 T₄-항체 (Wien Laboratories Inc.)와 T₃-항체 (Endocrine Sciences, Tarzana, CA)를 각각 사용하였다. 이때 추출효율 (extraction efficiency)은 T₄에서 51~67%, T₃에서 55~59%였다. RIA에 의한 T₃ intraassay coefficient of variation은 2.9% (n=10) 및 interassay coefficient of variation은 8.3% (n=10)였고, T₄ intraassay coefficient of variation은 3.8% (n=4)였고, interassay coefficient of variation은 2.4% (n=8)였다.

3. 자치어의 사육 및 활성 측정

T₃ 모체주사에 의해 출산된 자어의 성장과 생존을 변화를 알아 보기 위하여, T₃구, Sham구 및 Control구의 어미로부터 출산된 자어를 각각의 사각수조 (200 L, PVC제)에 약 10,000마리씩 3회 반복으로 수용하여 30일 동안 사육하였다. 사육수는 가온하여 수온 16.5 ± 0.1°C, 염분 33.8 ± 0.2‰, pH 8.0 ± 0.1, DO 7.7 ± 0.2 mg/L의 환경을 유지해 주었다. 자어의 먹이로 출산후 1~5일은 rotifer (12 inds./mL), 6~15일은 rotifer (6 inds./mL)와 *Artemia nauplii* (6 inds./mL), 16~30일은 *Artemia nauplii* (6 inds./mL)와 넙치용 배합사료 (체중의 5%, 1일 5회)를 혼합공급하였다. 자치어의 성장도는 만능투영기를 이용해 5일 간격으로 전장을 측정하고 자어를 pooled sample하여 개체수에 대한 중량을 통해 체중을 산정하였다. 생존율은 실험기간중 폐사개체를 계수하여 파악하였고, 출산직후 자어의 절식내성을 통한 실험구별 대사활성을 파악해 보았다. 이를 위해 자어 100마리를 2 L 비이커에 수용한 다음, 3반복으로 절식상태에서 생존율과 전장 폐사시간을 측정하였다. 또한 실험구별 자어의 유영활성을 파악하기 위하여, 출산 후 0, 3, 6, 9 일째 자어를 1 mm 간격으로 눈금이 표시되어 있는 유리관 (내경

10 mm, 길이 50 cm)에 넣고 10분간 유영속도 (이동거리; cm/min)와 유영빈도 (동작횟수; jerks/min)에 의한 유영지수 (유영속도/유영빈도)를 통해 조사하였다 (Tilseth et al., 1984).

4. 통계 처리

자료의 분석은 SPSS-PC 통계패키지를 이용하여 일원분산분석을 실시하였고, 유의차 유무는 Duncan's multiple range test를 통해 검정하였다.

결 과

1. 출산 자어의 THs 농도

출산직후 자어의 T₄ 농도는 T₃구 1.45 ± 0.24 ng/g BW, Sham 1.65 ± 0.25 ng/g BW 및 Control구 1.73 ± 0.23 ng/g BW로 서로 유의한 차이를 보이지 않았다. 이후 T₃구는 15일째에, 대조구들은 20일째 이르러 급격한 농도 상승이 있었으며, 이후 20일부터 30일까지 T₃구의 농도는 3.36~5.97 ng/g BW로 대조구 1.18~4.31 ng/g BW에 비해 높은 값을 나타냈다. 출산직후의 T₃ 농도는 T₃구가 11.53 ± 1.50 ng/g BW로 Control 4.96 ± 0.18 ng/g BW와 Sham구 4.20 ± 0.12 ng/g BW에 비해 높았지만, 출산 5일째에는 모든 실험구에서 실험기간중 가장 낮은 값을 보였고, 이후 다소 높아지는 경향이 있었다. 실험구별로는 T₃구가 전 실험기간 동안 대조구들 보다 높은 농도를 유지했으며, 특히 25일째는 2.65 ± 0.66 ng/g BW로 유의하게 높았다 (one way-ANOVA; P<0.05; Fig. 1).

2. 자어의 성장 및 생존율

출산자어는 실험기간중 직선적인 성장 경향을 보였으며, 실험 종료시 T₃를 주사한 어미에서 출산한 자어들의 성장이 대조구 자어에 비하여 높게 나타났다 (Fig. 2). 자어의 전장은 출산직후에 T₃구 (6.01 ± 0.14 mm)가 Sham구 (5.58 ± 0.12 mm) 및 Control구 (5.61 ± 0.11 mm)보다 다소 길어지는 경향을 보였으며, 출산후 5일째에는 T₃구 6.98 ± 0.21 mm, Sham구 6.33 ± 0.13 mm, Control구 6.13 ± 0.16 mm로 T₃구가 빠른 성장을 나타내었다. 이후 T₃구의 자어는 지속적으로 빠른 성장을 보였으며, 실험종료시에는 13.65 ± 1.21 mm로 Sham구 10.56 ± 0.79 mm, Control구 11.74 ± 0.89 mm 보다 높은 값을 나타내었다 (one way-ANOVA; P<0.05).

체중성장에 있어서는 출산직후에 T₃구 3.62 ± 0.11 mg, Sham구 3.57 ± 0.12 mg, Control구 3.58 ± 0.11 mg로 모든 실험구에서 유의차가 없었으나, 출산후 5일째에는 T₃구 5.13 ± 0.17 mg, Sham구 4.42 ± 0.13 mg, Control구 4.68 ± 0.14 mg으로 T₃구가 Sham구 보다 다소 성장이 빨랐다. 이후 30일째에는 T₃구 21.80 ± 1.15 mg, Sham구 18.90 ± 1.01 mg, Control구 19.40 ± 1.08 mg으로 나타나, T₃구가 대조구들보다 빠른 체중성장을 보이고 있었다 (one way-ANOVA; P<0.05).

T₃구 및 대조구들에서 실험기간중 출산자어의 생존율은 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. 출산후 5일째까지 T₃구 (91.3 ± 0.5%), Sham구 (95.4 ± 0.4%) 및 Control구 (96.2 ± 0.8%)의 생존율은 서로 큰

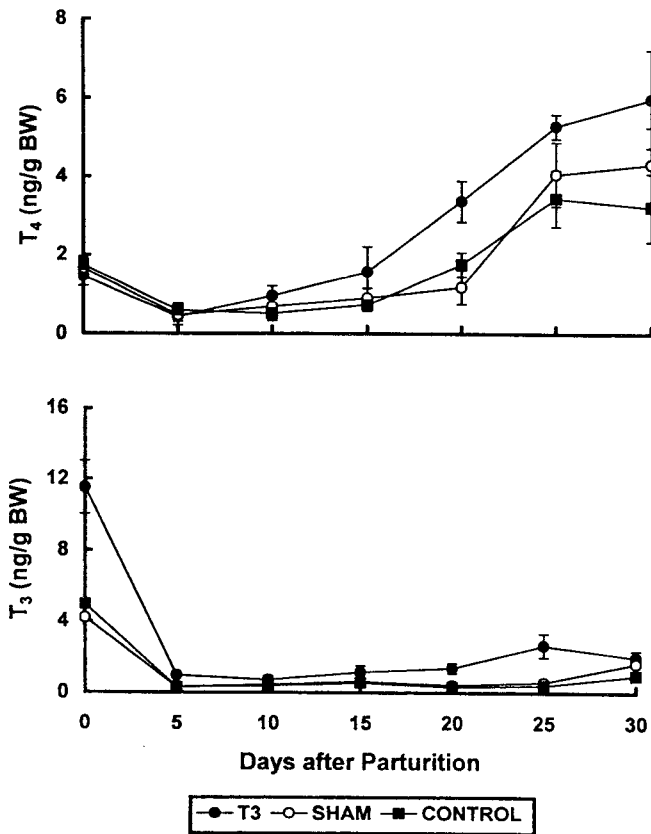


Fig. 1. Changes in T_4 and T_3 concentrations during early development period of black rockfish, *S. schlegelii*. Each point represents the average and the standard error of duplicate determination of three pooled samples (one way-ANOVA; $P < 0.05$).

차이를 보이지 않았지만, 10일째부터는 T_3 구에서 $85.7 \pm 0.9\%$ 로, Sham구 $78.8 \pm 0.8\%$ 및 Control구 $85.6 \pm 1.1\%$ 보다 높은 생존율은 나타났다. 이후에도 T_3 구는 대조구들에 비해 지속적으로 높은 생존율을 유지하였으며, 실험종료시인 출산후 30일째에는 T_3 구 $42.8 \pm 3.7\%$, Sham구 $22.8 \pm 3.5\%$ 및 Control구 $29.5 \pm 4.6\%$ 로 T_3 구가 여전히 대조구들 보다 높은 생존율을 보였다 (one way-ANOVA; $P < 0.05$).

3. 자어 활성

T_3 의 모체주사에 따른 출산자어의 활력을 비교하기 위한 절식 내성 및 유영활성 실험에서 T_3 구의 자어활성이 높은 것으로 나타났다. 출산직후부터 절식상태에서 경과일수에 따른 자어의 생존율은 T_3 구에서 낮았으며, 출산 5일째에는 모든 자어가 폐사하였다. 그러나 대조구인 Sham구와 Control구의 자어는 T_3 구 보다 생존기간이 길었으며, 경과일수별 생존율 또한 높았다 (Fig. 4). 자어의 유영지수는 출산직후에 T_3 구 0.76 ± 0.04 cm/jerk, Sham구 0.71 ± 0.02 cm/jerk 및 Control구 0.67 ± 0.03 cm/jerk로 T_3 구 자어의 유영활성이 높았으며, 이후 3일, 6일 및 9일째의 유영활성 역시 T_3 구에서 높았다 (Fig. 5).

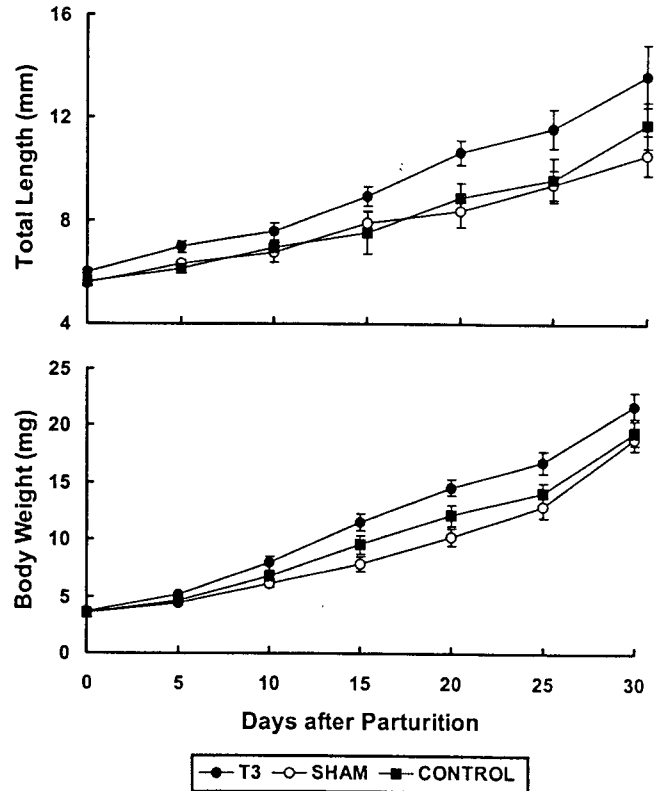


Fig. 2. Growth of larvae from mother fish injected with T_3 , sham and control ($n=30$; one way-ANOVA; $P < 0.05$).

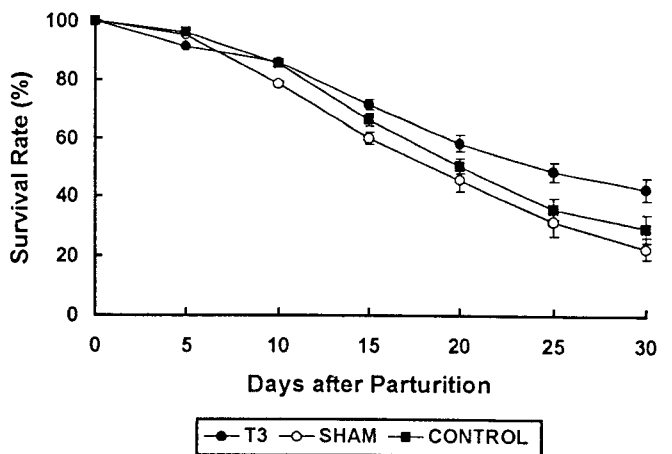


Fig. 3. Survival rate of larvae and juveniles from mother fish injected with T_3 , sham and control (triplicated; one way-ANOVA; $P < 0.05$).

고 찰

어류에 대한 THs의 인위적 투여는 부화자어의 난황흡수 촉진, 지느러미 분화 및 발달을 유도하여 (Nacario, 1983; Lam and Sharma, 1985; Reddy and Lam, 1992), 성장이나 생존을 향상시킬 수 있다 (Sullivan et al., 1987; Brown et al., 1989; Greenblatt et

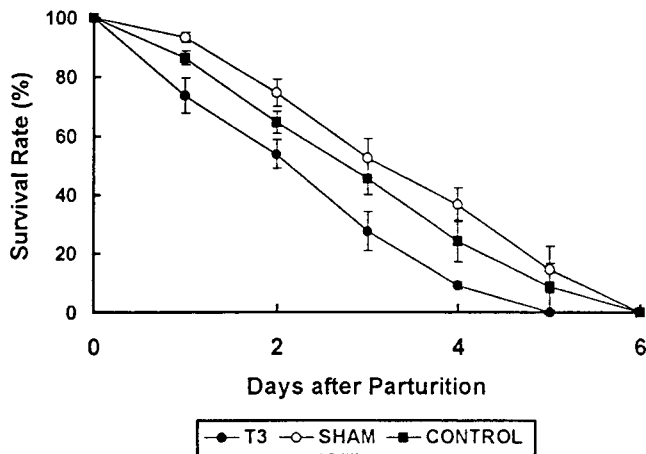


Fig. 4. Survival rate of larval black rockfish following to starvation (triplicated; one way-ANOVA; $P < 0.05$).

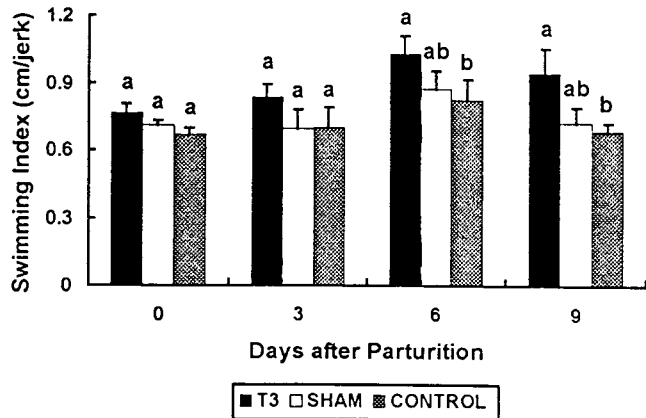


Fig. 5. Swimming index (cm/jerk) at 0, 3, 6, and 9 days after parturition of black rockfish, *S. schlegelii*. Different superscripts on the bar are significantly different ($n = 30$; one way-ANOVA; $P < 0.05$).

al., 1989; Kang and Chang, 1996). 특히, 투여방법에 있어 THs의 모체주사의 유용성이 제시되면서 (Brown et al., 1988; Ayson and Lam, 1993; Kang and Chang, 1998), THs 투여방법의 효율성에 대한 논의가 지속적으로 이루어져 왔다. 그러나 이러한 대부분의 시도는 난생어류를 대상으로 한 것이었으며, 새끼를 낳는 어류를 대상으로 한 것은 Kang and Chang (1998)과 Kang et al. (2001)의 연구외에 찾아보기 어렵다. 조피볼락의 경우, 새끼는 어미의 생식소 안에서 부화하여 2~3일간 머물며 물질대사를 시작하고, 이후 출산을 통해 외부생활을 시작하는 특성을 지니고 있다 (Boehlert and Yoklavich, 1984; Boehlert et al., 1986; Shimizu et al., 1991). 특히 어미의 체내에서 머물면서 물질대사는 부화자의 항문 및 소화관내 세포들에 의한 음작용 (pinocytosis)으로 저분자 물질들이 흡수되기 때문에, 배체 상태에서 각종 호르몬을 비롯한 새로운 물질을 전이시키는 방법이 고안될 수 있다. 자어 초기에 기존의 실험에서 사용되는 호르몬 투여법으로는 침지법, 경구투여

법 및 난황기 모체주사법 등이 있으나, 이들 방법은 낮은 효율성과 취급의 어려움 때문에 실용화되지 못하고 있다. 그러므로 이러한 단점을 극복한 새로운 물질 전이 방법의 개발은 중요생산 시기에 있어 외인성 호르몬의 활용을 보다 손쉽게 할 수 있을 것으로 보인다. 특히 조피볼락과 같은 볼락류를 대상으로 한 출산전 주사법은 부화자어에게 외인성 호르몬을 어미를 통해 주입한다는 측면에서 모체주사후 장시간 어미를 관리해야 하는 난황기 주사법과 달리, 모체내 발생배에게 보다 직접적이고도 확실하게 물질을 전이시킬 수 있어 어미관리에 소요되는 시간과 경비를 크게 줄일 수 있게 됨으로써, 다른 번식관련 연구와 현장실험에 활용가치가 높다고 할 수 있다.

일반적으로 갓 태어난 자어는 특정 호르몬이나 효소를 생산하는 능력이 완비되지 않아 대사에 필요한 면역물질 및 영양원을 모체 유래 물질에 의존하다가 (Lam, 1994), 이후 먹이섭취 과정을 통해 외부의 영양원을 섭취하게 된다. 이러한 어미로부터의 면역 및 영양물질의 유입은 난모세포의 난황형성기에 이루어지며, 이때 각종 대사 호르몬이 동반될 수 있다. THs의 경우, 어미의 혈류를 통해 난모세포로 전이되어 (Ayson and Lam, 1993), 상당량이 알파 자어에 존재한다는 (Kobuke et al., 1987; Sullivan et al., 1987; Tagawa and Hirano, 1987; Brown et al., 1988; 1989; Greenblatt et al., 1989) 것은 잘 알려진 사실이다. 또한 부화직후 자어의 활성 및 면역기능은 매우 약하며, 어체는 유약하여 미미한 환경변화에도 생존을 위협받기 때문에 중요생산 초기의 부화자어 관리에 상당한 주의가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 THs를 활용하여 조피볼락 중요생산의 효과를 높이기 위한 방법으로서 출산직전 암컷 어미를 대상으로 T₃를 주사하여 자어의 성장과 생존율에 미치는 영향을 파악해 보았다.

본 연구의 결과에서 T₃의 출산직전 모체주사는 출산자어의 활력, 성장 및 생존율에 긍정적 효과를 나타냈다. 이러한 성과는 striped bass, *Morone saxatilis*를 대상으로 한 Brown et al. (1988; 1989)의 연구에서도 나타난 바와 같이, 대조구에 비해 T₃ 처리구의 높은 성장률과 생존율은 부레의 발달축진에 따른 먹이 포획능력 향상에 기인하는 것으로 추측할 수 있으며, 또한 *Salmo irideus*에서 T₄가 표피의 guanine 안으로 [¹⁴C]glycine의 유입을 증진시킨다는 Matty and Sheltawy (1967)의 연구결과에 비추어 볼 때, THs가 단백질 대사에 관여하여 직접적으로 성장을 촉진할 가능성도 예상된다. 더욱이 Jackim and LaRoche (1973)는 T₄ 뿐만 아니라 T₃도 killfish, *Fundulus heteroclitus*의 근육 단백질 안으로 L-[1-¹⁴C]leucine의 축적을 증가시킨다는 사실을 밝혔고, Narayansingh and Eales (1975)는 T₄가 무지개송어, *Salmo gairdneri*와 brook trout, *Salvelinus fontinalis*의 간 및 아가미 내로 단백질인 L-[1-¹⁴C]leucine 증대를 확인한 바 있어 그 가능성을 뒷받침해 준다. 이러한 THs의 모체 주사에 의한 자어의 성장축진은 striped bass (Brown et al., 1988), rabbitfish, *Siganus guttatus* (Ayson and Lam, 1993) 및 *S. lalandi* (Tachihara et al., 1996) 및 조피볼락 (Kang and Chang, 1998) 등에서 찾아 볼 수 있다. 또한 THs 모체주사는 출산자어의 생존율을 향상시킬 수 있다. Striped bass의 경우, 친어에 T₃를 주사하여 자어에 전달시킨 뒤 1개월후 치어

의 생존율이 증진되었으며 (Brown et al., 1989), rabbitfish (Ayson and Lam, 1993), 돌돔, *Oplegnathus fasciatus* (El-Zibdeh et al., 1996) 및 goldstriped amberjack, *Seriola lalandi* (Tachihara et al., 1996) 등에서도 생존율의 증진이 확인된 바 있다. Goldstriped amberjack에서 T₃의 처리에 의해 사육 36개월후 자어의 생존율이 대조구에 비해 12배까지 높아진 결과도 있다. 본 연구에서도 T₃가 출산후 15일째부터 실험 종료시까지 대조구에 비해 높은 생존율을 나타내었으며, 자어 활력 실험에서도 T₃ 처리구의 자어들의 활성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 모체를 통해 전이된 외인성 T₃가 출산직후 자어의 대사활성을 증대시킴으로써, 활발한 섭식과 원활한 단백질 동화작용에 의해 성장 및 생존율이 향상된 것으로 생각된다.

본 연구의 결과를 통하여 출산전 THs 모체주사가 조피볼락 자어의 초기성장이나 생존율 향상에 응용될 수 있음이 확인되었으므로, 앞으로 이 방법의 효율성 증대를 위한 최적 주사 시점 및 농도에 대한 보다 체계적이고 세부적인 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.

요 약

출산기에 임박한 조피볼락 암컷에 20 mg/kg체중의 농도로 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T₃)를 주사한 뒤, 출산 자어로의 호르몬 전이 여부, 자어 성장과 활력을 조사하였다. 출산자어의 갑상선호르몬을 분석한 결과, 출산직후에 T₃구가 대조구 보다 높은 T₃ 농도를 나타냈으나, L-thyroxine (T₄)의 농도는 대조구와 유의차가 없었다. 그러나 실험기간 동안 어체내 모든 실험구의 갑상선호르몬 농도는 T₃가 T₄에 비해 상대적으로 낮았고, 실험구별로는 T₃구가 대조구에 비해 높은 것을 알 수 있었다. 자어의 성장률은 대조구에 비하여 T₃구에서 높았으며, 출산후 경과일수에 따라 직선적인 전장성장 경향을 나타냈다. 실험종료시 생존율은 T₃구의 자어가 대조구에 비해 높았으며, 유영활성에서도 T₃구의 자어가 대조구에 비해 유의하게 높았다. 출산직전 T₃ 모체주사는 외부영양원 섭취 개시기의 자어성장 및 생리활성을 증진시키는 데 효과적인 것으로 나타났다. 이상의 연구결과로부터 출산전 모체주사를 통하여 외인성 T₃가 자어로 전이되며, 전이된 호르몬은 출산후의 자어의 초기 발달기 동안 생리적으로 긍정적인 작용을 할 것으로 추측된다.

참 고 문 헌

- Ayson, F.G. and T.J. Lam. 1993. Thyroxine injection of female rabbitfish (*Siganus 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.
- Boehlert, G.W. and M.M. Yoklavich. 1984. Reproduction, embryonic energetics, and the maternal-fetal relationship in the viviparous genus (Pisces: Scorpaenidae). *Biol. Bull.*, 167, 354~370.
- Boehlert, G.W., M. Kusakari, M. Shimizu and J. Yamada. 1986. Energetics during embryonic development in Kurosoi, *Sebastes schlegeli* Hilgendorf. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 101, 239~256.
- Brown, C.L., S.I. Doroshov, J.M. Nunez, C. Hadley, J. Vaneennaam, 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 of striped bass fingerlings after maternal triiodothyronine treatment. *Fish Physiol. Biochem.*, 7, 295~299.
- Brown, C.L. and B.G. Kim. 1995. Combined application of cortisol and triiodothyronine in the culture of larval marine finfish. *Aquaculture*, 135, 79~86.
- Chang, Y.J. and D.Y. Kang. 1998. Maternal injection of 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T₃) causes changes of thyroid hormone levels in plasma, eggs and yolk-sac larvae in female rockfish (*Sebastes schlegeli*). *J. Korean Fish. Soc.*, 31, 721~726 (in Korean).
- 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.
- Galton, V.A. 1988. The role of thyroid hormone in amphibian development. *Ame. Zool.*, 28, 309~318.
- 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.
- Jackim, E. and G. LaRoche. 1973. Protein synthesis in *Fundulus heteroclitus* muscle. *Comp. Biochem. Physiol.*, 44, 851~866.
- Kang, D.Y. and Y.J. Chang. 1996. Effects of dietary 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T₃) on growth and survival rate in juvenile black seabream, *Acanthopagrus schlegeli*. *J. Aquaculture*, 9, 215~222 (in Korean).
- Kang, D.Y. and Y.J. Chang. 1997. Effects of exogenous thyroid hormone (T₃) on skeletal development and physiological conditions of juvenile black seabream (*Acanthopagrus schlegeli*). *J. Korean Fish. Soc.*, 30, 305~312 (in Korean).
- Kang, D.Y. and Y.J. Chang. 1998. Improvement of growth and survival rate in larval and juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*) from mother fish in vitellogenesis injected with 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T₃). *J. Aquaculture*, 11, 303~310 (in Korean).
- Kang, D.Y., Y.J. Chang, Y. Kim and J.I. Myoung. 2001. Effects of oral administrated thyroid hormone (T₃) on physiological condition, growth and survival rate of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). *J. Korean Fish. Soc.*, 34, 558~593 (in Korean).
- Kimura, R., M. Tagawa, M. Tanaka and T. Hirano. 1992. Developmental changes in tissue thyroid hormone levels of red sea bream, *Pagrus major*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 975pp.
- Kobuke, L., J.L. Specker and H.A. Bern. 1987. Thyroxine cotent in eggs and larvae of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *J. Exp. Zool.*, 242, 89~94.
- 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.
- Lam, T.J. 1994. Hormones and egg/larval quality in fish. *J. World Aquacul. Soc.*, 25, 2~12.
- Matty, A.J. and M.J. Sheltawy. 1967. The relation of thyroxine to skin purines in *Salmo irideus*. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 9, 473.

- Miwa, S., M. Tagawa, Y. Inui and T. Hirano. 1988. Thyroxine surge in metamorphosing flounder larvae. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 70, 158~163.
- Nacario, J.F. 1983. The effect of thyroxine on the larvae and fry of *Sarotherodon niloticus* L. (*Tilapia nilotica*). *Aquaculture*, 34, 73~83.
- Narayansingh, T. and J.G. Eales. 1975. Effects of thyroid hormones on *in vivo* [^{14}C]L-leucine incorporation into plasma and tissue protein of brook trout *Salvelinus fontinalis* and rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 52, 399~405.
- Reddy, P.K. and T.J. Lam. 1992. Role of thyroid hormones in tilapia larvae (*Oreochromis mossambicus*): I. Effect of the hormones and an antithyroid drug on yolk absorption, growth and development. *Fish Physiol. Biochem.*, 9, 473~486.
- Shi, Y.B. and D.D. Brown. 1993. The earliest changes in gene expression in tadpole intestine induced by thyroid hormone. *J. Biol. Chem.*, 268, 20312~20317.
- Shimizu, M., M. Kusakari, M.M. Yoklavich, G.W. Boehlert and J. Yamada. 1991. Ultrastructure of the epidermis and digestive tract in *Sebastes* embryo, with special reference to the uptake of exogenous nutrients. *Environ. Biol. Fish.*, 30, 155~163.
- 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_3) 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., M. Tanaka, S. Matsumoto and T. Hirano. 1990. Thyroid hormones in eggs of various freshwater, marine and diadromous teleosts and their changes during egg development. *Fish Physiol. Biochem.*, 8, 515~520.
- Tagawa, M. and T. Hirano. 1989. Changes in tissue and blood concentrations of thyroid hormones in developing chum salmon. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 76, 437~443.
- Tan, S.H., B. Sivaloganathan, K.P. Reddy and T.J. Lam. 2001. Does administration of exogenous hormones (T_3 and cortisol) modulate the gene expression of proteolytic digestive enzymes in seabass *Lates calcarifer* larvae? In *Aquaculture 2001* (Ed. by J. M. Parker), Louisiana State University, LA, USA, p. 633.
- Tanaka, M., R. Kimura, M. Tagawa and T. Hirano. 1991. A thyroxine surge during development of black seabream larvae and its ecological implication in inshore migration. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 1827~1832.
- Tilseth, S., T.S. Solberg and K. Westrheim. 1984. Sublethal effects of the water-soluble fraction of Ekofisk crude oil on the early larval stages of cod (*Gadus morhua* L.). *Mar. Environ. Res.*, 11, 1~16.

2002년 4월 18일 접수

2002년 10월 29일 수리