

감성돔, *Acanthopagrus schlegeli* 수정란과 부화자어의 발달에 미치는 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T₃)의 침지처리 효과

강 덕 영*

국립수산과학원 거제수산종묘시험장

Effects of 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T₃) Immersion on Development of Fertilized Egg and Newly Hatching Larva of Black Seabream, *Acanthopagrus schlegeli*

Duk-Young Kang*

Keoje Marine Hatchery, NFRDI, Keoje 656-840, South Korea

Abstract

The hatching of fertilized egg and early development of larval black seabream, *Acanthopagrus schlegeli* by immersion of 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T₃) with doses of 0.01~0.5 ppm in tank were examined for early development periods and compared with control fish immersed by 0.1 N NaOH and 99% alcohol. Larvae were fed with rotifers for first 5 days during experimental period. Yolk absorption of larvae from T₃ immersion groups were significantly faster than that of control. Although hatching times among each groups were not significant difference, the hatching rates of larvae in higher doses (0.1 ppm and 0.5 ppm T₃ groups) were significantly lower than control. The results of T₃ immersion experiments to newly hatching larvae indicated that exogenous T₃ induced significant faster the absorption of yolk and oil globule, faster the development of myotome and digestive duct and higher the growth rate of larvae than larvae of control. These results indicate that T₃ immersion supplements appear to confer a distinct advantage to eggs and larvae of black seabream, which is in early fragile developmental stage.

Key words – Black seabream, hatching, early development, 3,5,3'-triiodo-L-thyronine, immersion.

서 론

우리나라 전 연안에 널리 분포하는 감성돔, *Acanthopagrus schlegeli*는 양식 및 연안자원 조성용으로 종묘생산이 이루어지고 있으나, 자·치어 단계의 대량 폐사가 생산성 효율을 저하시키는 문제점을 지니고 있다. 이러한 생산성

저하는 종묘생산 초기 단계에 있어 영양, 사육 수질 및 질병 등에 의한 것으로 알려져 있다. 이에 최근에는 어류의 자치어 생리활성 증대 및 성장향상 유도할 수 있는 내분비학적 연구가 thyroid hormone 활용을 중심으로 진행되어 왔다[22,7]. 이 호르몬은 척추동물의 생체 내에 L-thyroxine (T₄), 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T₃) 및 3,3',5'-triiodo-L-thyronine (rT₃) 등의 형태로 확인되지만, T₄와 T₃ 두 종류가 생리활성 물질로서 작용하는 것으로 알려져 있다[13, 15]. 특히 이 물질들은 어류의 변태, 물질대사, 삼투압 조

*To whom all correspondence should be addressed
Tel : 011-9980-7116, Fax : 303-3101-8159
E-mail : dykang@hotmail.com

절 및 성숙 등과 같은 생리현상에 깊숙이 관여하며, 어류의 성장과정 중 GH의 성장촉진 효과를 보조함으로써[10, 12], 정상적인 개체 성장과 기관 발달을 위한 필수 요소로 알려져 있다. 또한 이 두 가지 물질은 어미의 체순환계에서 난소를 통해 성숙 난모세포로 전이되어[5,7], 수정란 및 부화직후 단계까지 지속적으로 유지되며[5,6,17,25,40,41,43], 배체 발달과 부화 자어 성장 및 생존율 향상에 관여하는 것으로 알려져 있어[8,9,29,36], 어류 종묘생산 초기 단계에 활용도가 높을 것으로 기대되고 있다. 이러한 이유로 일부 연구자들은 thyroid hormone 활용 가능성을 타진하기 위해, 대상 종의 최적 용량, 투여경로(경구투여법, 모체주사법, 침지법), 환경적 요소 및 생리상태 등의 실험이 일부 어종을 대상으로 실시되어 왔지만[1,2,7,22], 아직까지 연구 자료가 부족한 상태이며, 호르몬 처리 기법에 대한 표준사양화를 위해 더 많은 연구 자료가 요구되고 있다.

그러나 thyroid hormone를 비롯한 어류를 대상으로 한 호르몬제의 이용은 여러 가지 난제를 지니고 있다. 예를 들어 어류의 전기 자어에 대한 부적절한 호르몬 처리는 종별로 그 처리 효과가 다르게 나타나거나, 성장 지연, 비정상적인 발육 및 기형어 출현을 야기할 수 있어[8,29,36], 산업화를 위해 다양한 종을 대상으로 검증이 요구된다. 특히 해산어와 담수어에 있어서 기능적 차이와 동일종 내 발달시기별 발현 차이 등의 문제뿐만 아니라, 사용 농도, 기간, 시기 및 사육환경 등과 같은 요인에 의해 발현 정도가 차이가 있을 수 있어, 특정시기별 취급법에 의한 종 특이성 구분이 사전에 이루어져야 할 것이다. 또한 호르몬 처리는 생물체의 성장 장애, 기형 유발, 대량폐사 등과 같은 문제들뿐만 아니라, 유전적 오염과 환경수질 오염 등 2차 적인 문제들도 유발시킬 수 있기 때문에[10], 실제 산업 현장에서 호르몬을 이용하기 위해서는 이들 호르몬 처리에 따른 부작용에 대한 조사도 이루어져야 할 것이다. 그러므로 외인성 thyroid hormone의 이용 기술을 양식 산업에 활용하기 위해서는 이 호르몬에 대한 내분비학적 기초 지식과 어류양식 적용 기술을 획득하여, 다양한 활용법 개발 및 산업화가 진행되어야 할 것으로 본다. 이에 본 연구에서는 감성돔의 초기 종묘생산에서 thyroid hormone 활용 가능성을 파악하기 위해, 발생단계인 감성돔의 수정란과 부화 직후 자어를 대상으로 침지처리법 의한

외인성 T₃의 기능성을 파악해 보고, 일련의 비교 실험을 실시하였다.

재료 및 방법

실험에 이용된 수정란 및 부화 직후 자어는 실험기간 중 전장 26.2~33.7 cm, 체중 420.5~987.4 g의 감성돔 어미로부터 인공 채란 및 채정하여 수정·부화시킨 것을 사용하였다. 실험에 사용된 thyroid hormone는 T₃ sodium salt (Sigma Chemical Co. Ltd.)로써, 배지를 만들기 위해 T₃를 알코올과 NaOH로 용해한 뒤 여과해수에 섞어, 여과지를 통해 수용액을 거르고, 용해되지 않은 응고물질은 재 여과하여 T₃ stock solution로 사용하였다. 이 stock solution을 실험구별 농도로 희석하여 다음과 같이 2가지 실험을 실시하였다.

수정란 발생과 부화에 미치는 영향

이 실험은 T₃ 희석농도에 따라 대조구를 포함해 6개의 실험구를 설정하였다. 대조구는 해수에 T₃ 용매인 0.1 N NaOH와 99% 알코올을 첨가한 0 ppm구와 T₃ 희석농도별로 0.01 ppm, 0.05 ppm, 0.1 ppm, 0.3 ppm, 0.5 ppm구를 설정하여 3반복으로 실시하였다. 실험 수조는 20ℓ 원형 아크릴수조 (수량 18ℓ)를 이용하였으며, 사육 밀도는 약 23~24개/ℓ로 설정하였다. 환수량은 1회전/일로 전량 환수하였다. 이때 교환수는 일정비율로 T₃ stock solution을 희석한 여과해수를 사용하였다.

실험에 사용한 수정란은 수정 14시간이 지난 상실기의 알(지름 0.80±0.02 mm, 부피 0.26±0.02 mm³, 유구지름 0.17±0.01 mm)을 사용하였다. 실험기간 동안 사육환경은 수온 21.1~22.5℃, DO 9.0~6.7 mg/ℓ, pH 8.2~8.3였다. 측정항목은 수정란의 난황율(yolk percentage: YP, %), 부화율 및 부화시간(실험개시 후 부화율 50%)이었다. YP는 수정후 14시간에서부터 27시간까지, 알부피(egg volume mm³: EV) 및 난황부피(yolk volume mm³: YV)를 조사하여 다음과 같이 계산하였다[36].

<ul style="list-style-type: none"> ▶ EV (mm³) = (π/6)LH² ▶ YV (mm³) = (π/6)lH² ▶ YP (%) = (YV/EV)×100 <p style="text-align: right; margin: 0;">L: 단경(mm), H: 장경(mm)</p>
--

부화자어에 미치는 영향

실험용 자어는 두 실험 모두 전장 1.84 ± 0.08 mm, 체장 1.77 ± 0.09 mm의 크기의 부화직후 개체를 사용하였으며, 사육은 20 ℓ의 아크릴 수조를 이용하여 3반복으로 실시하였다. 사육밀도는 100마리/ℓ였으며, 사육수 교환은 1회전/일으로 맞추어 주었다. 실험구는 T_3 를 각각 0 ppm(대조구), 0.01 ppm, 0.10 ppm, 0.50 ppm의 농도로 처리하여 설정해주었다.

형태발달 실험은 수온 $21.3 \pm 1.3^\circ\text{C}$, DO 4.4 ± 1.5 mg/ℓ, pH 8.06 ± 0.07 의 사육환경에서 부화자어에 먹이생물(로티퍼 5~10개체/ℓ)를 공급하는 상태에서, 난황부피(yolk volume: YV), 유구지름(oil globule diameter: OD), 근절높이(myotome height: MH), 장높이(gut height: GH), 항문장(pre-anal length: PL) 및 전장(total length: TL)을 통해 파악하였다(Fig. 1).

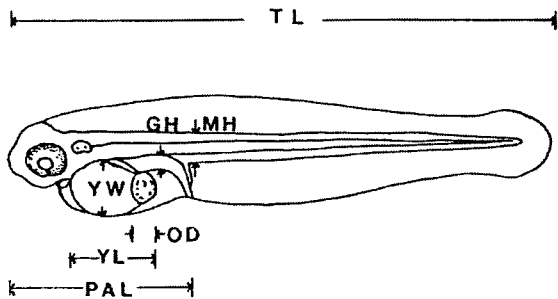


Fig. 1. Dimensions of the larval black seabream. PAL: pre-anal length, YL: yolk length, YW: yolk width, OD: oil globule diameter, GH: gut height, MH: myotome height, TL, total length.

대사활성 실험은 먹이를 공급하지 않는 상태에서 생존율 및 생존일수를 파악하였으며, 사육환경은 수온 $22.6 \pm 2.1^\circ\text{C}$, DO 4.3 ± 1.6 mg/ℓ, pH 8.01 ± 0.09 였다. 절식시 부화자어의 생존율 및 생존일수는 일간 폐사개체를 계수하여 산정하였다.

통계처리

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

결 과

수정란의 부화에 미치는 영향

수정란의 시간대별 YP (%)를 측정된 결과는 아래의 Table 1과 같다. 실험 개시시(수정후 14 hr.; 상실기)의 감성돔 수정란의 YP는 $85.3 \pm 1.3\%$ 였으나, 3시간 뒤(수정후 17 hr.)에 0.30 ppm구($81.8 \pm 1.1\%$)와 0.50 ppm구($81.3 \pm 0.7\%$)가 0 ppm구($84.3 \pm 1.4\%$) 보다 낮은 YP를 보였다. 그리고 동일 시간대에서 YP를 비교해 보았을 때도, 처리농도가 높을수록 YP는 낮게 나타났다. 이후 13 시간 뒤 (수정후 27 hr.), 0.50 ppm구만이 $59.9 \pm 2.2\%$ 로 0 ppm구($65.0 \pm 2.3\%$)에 비해 유의하게 낮은 YP를 보였다.

한편 실험구별 부화율과 부화시간에 있어서는 T_3 농도에 따른 영향은 Table 2와 같이 나타났다. 부화율의 경우 0 ppm구($95.9 \pm 0.4\%$), 0.01 ppm구($95.5 \pm 0.6\%$), 0.05 ppm구($96.5 \pm 0.4\%$)들이 유의차를 나타내지 않았지만, 0.10 ppm이상의 농도에서는 94% 이하의 부화율을 나타내었다. 부화

Table 1. Effect of 3,5,3'-triiodo-L-thyronine on yolk percentage (YP, %; n=30) of fertilized egg of the black seabream, *Acanthopagrus schlegelii*¹⁾

Group	Time after fertilization				
	14 hr.	17 hr.	20 hr.	23 hr.	27 hr.
0 ppm	85.3 ± 1.3	84.3 ± 1.4^a	77.1 ± 3.7^a	74.2 ± 2.6^a	65.0 ± 2.3^a
0.01 ppm	85.3 ± 1.3	82.2 ± 1.6^{ab}	77.7 ± 2.8^a	72.7 ± 3.1^{ab}	65.2 ± 2.6^{ab}
0.05 ppm	85.3 ± 1.3	82.5 ± 1.7^{ab}	75.4 ± 2.2^{ab}	69.8 ± 2.3^{ab}	63.4 ± 2.1^{ab}
0.10 ppm	85.3 ± 1.3	82.2 ± 0.9^{ab}	74.7 ± 2.6^{ab}	67.5 ± 2.9^b	61.9 ± 2.7^{ab}
0.30 ppm	85.3 ± 1.3	81.8 ± 1.1^b	74.1 ± 2.5^{ab}	67.1 ± 2.6^b	61.5 ± 1.8^{ab}
0.50 ppm	85.3 ± 1.3	81.3 ± 0.7^b	70.3 ± 2.8^b	66.4 ± 3.4^b	59.9 ± 2.2^b

¹⁾Values with different superscripts within the same column are significantly different ($P < 0.05$).

Table 2. Effect of 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T₃) on hatching rate (%) and hatching time (min) of fertilized egg in the black seabream, *Acanthopagrus schlegeli*¹⁾

Group	Hatching Rate (%) ²⁾	Hatching Time (min.) ³⁾
0 ppm	95.9±0.4 ^a	2200±80
0.01 ppm	95.5±0.6 ^{ab}	2060±51
0.05 ppm	96.5±0.4 ^a	2070±43
0.10 ppm	94.4±0.3 ^b	2020±28
0.30 ppm	93.0±0.5 ^b	2000±20
0.50 ppm	93.9±0.3 ^b	1990±35

¹⁾Values with different superscripts within the same column are significantly different (P<0.05).

²⁾(No. hatching/No. viable egg)×100.

³⁾Time from initial experiment to 50% hatch.

시간은 모든 실험구 간 유의차를 찾아 볼 수 없었다 (P>0.05).

부화자어에 미치는 영향

부화직후 0.15 mm³인 난황부피(YV)는 부화후 1일째에 0 ppm구가 0.069 mm³로 가장 컸으며, 0.5 ppm구가 0.029 mm³로 가장 적었다. 이 값은 부화 2일째 급격히 감소하며, 부화 후 3일째에 0.5 ppm 자어의 난황이 완전히 소실, 0.1 ppm은 부화후 4일째 완전 흡수되었다. 하지만 그밖에 다른 실험구는 부화후 5일째에 완전 소실이 관찰되었다. 부화직후 0.16 mm였던 유구는 실험기간 동안 자어에게 흡수되어 0.5 ppm구에서는 부화 5일째 완전 소실되었고 나머지 구들에서는 부화후 6일째 완전 흡수되었다(Fig. 2).

실험구별 자어의 근절 높이(MH)는 부화 직후 0.110 mm이던 것이 부화 후 1일째 급격히 성장, 5 ppm이 0.165 mm로 가장 높은 값을, 0 ppm이 0.147 mm로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이러한 경향은 실험 종료 시까지 유지되었다. 또한 장 높이(GH)는 부화 후 2일째까지 모든 실험구가 거의 차이를 나타내지 않았으나, 부화 후 3일째부터 0.5 ppm와 0.1 ppm구가 다소 빠른 성장을 나타내었다. 이후 부화 후 8일째에는 0.5 ppm구가 0.130 mm로 가장 높았고, 대조구가 0.104 mm로 가장 적은 값을 나타내었다(Fig. 3).

한편 부화자어의 항문장(PL) 길이는 부화 직후부터 3일

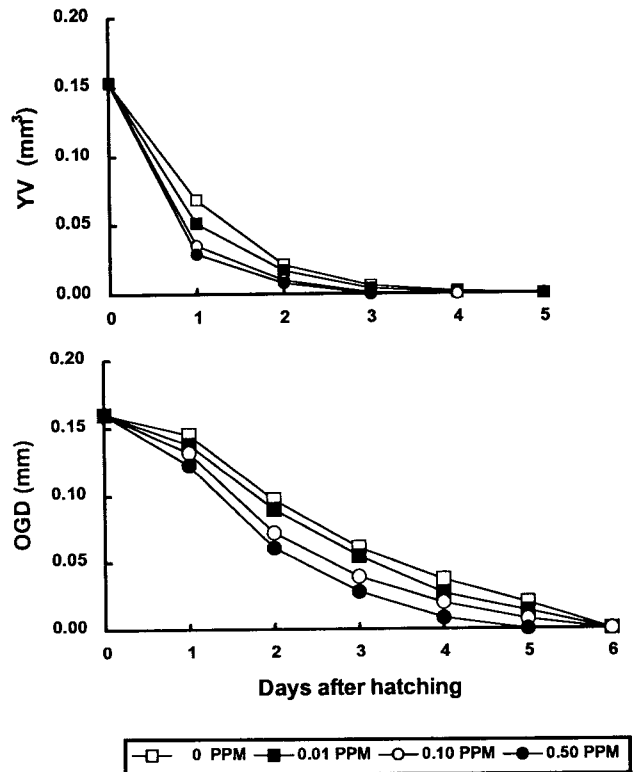


Fig. 2. Daily changes in yolk volume (YV, mm³) and oil globule diameter (OGD, mm) of newly hatching larvae of black seabream immersed with T₃.

까지 모든 실험구가 감소하였으며, 4일째부터는 0.5 ppm 구와 0.1 ppm구가 증가하기 시작한 반면, 0.01 및 0 ppm 구들은 6일째부터 증가하기 시작하였다. 실험 종료시 이 길이는 처리농도가 높을수록 빨리 성장하는 경향을 나타내었다. 그리고 전장(TL)은 모든 실험구가 부화일자가 지날수록 증가하는 경향을 보였으나, 부화 후 2일째부터 실험구별 성장 차를 나타내기 시작하여, 실험 종료시 0.5 ppm에서 4.26 mm로 가장 빠른 성장을 나타내었으며, 0 ppm이 3.88로 가장 낮은 값을 나타내었다(Fig. 4).

고 찰

어류 양식에 있어 성공 여부는 자어의 최초 먹이 섭취 및 정상적인 발달 및 성장에 의한 양질의 종묘를 대량으로 생산하는 데 달려 있다. 이러한 자어의 성장과 생존은 일차적으로 부화 직후 자어의 최초의 먹이섭취 시행, 효율적인 소화 및 영양흡수 능력 발휘에 달려있다. 따라서

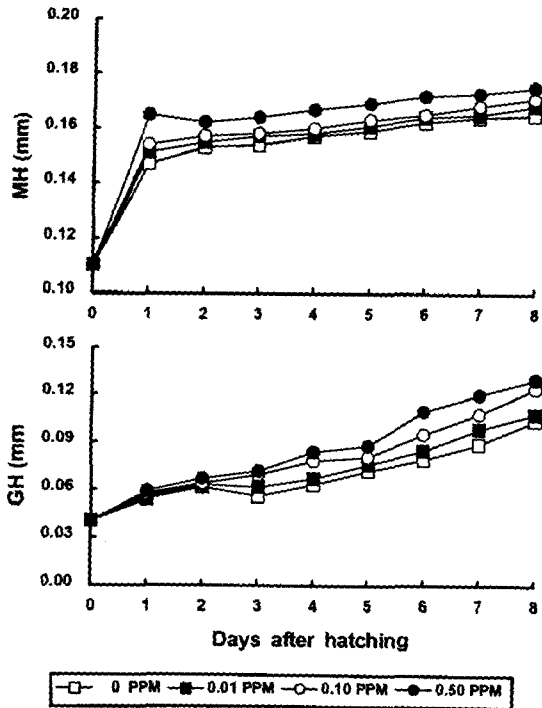


Fig. 3. Daily changes in myotome height (MH, mm) and gut height (GH, mm) of newly hatching larvae of black seabream immersed with T_3 .

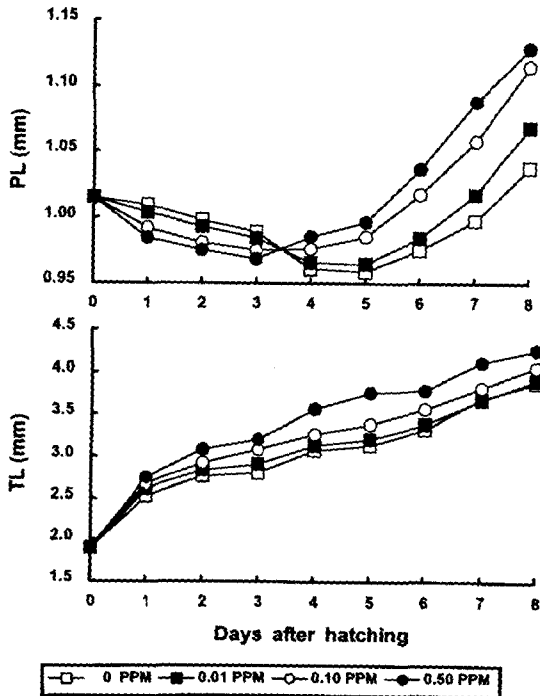


Fig. 4. Daily changes in preanal length (PL, mm) and total length (TL, mm) of newly hatching larvae of black seabream immersed with T_3 .

어류의 초기 발생 동안, 자어의 변태와 성장에 관련된 내분비 시스템의 기능적 역할을 이해하는 것은 중요한 것으로 여겨진다.

Thyroid hormone은 양서류의 변태동안 장의 상피세포 발달을 유도하며[38]. 양서류 및 척추동물의 초기 발달 [16], 연어류의 형태발달[43] 및 conger eel, *Conger myriaster* [46], 넙치, *Paralichthys olivaceus* [34,35], 감성돔, *Acanthopagrus schlegeli* [44], 참돔, *Pagrus major* [24] 등의 변태에 관여하는 것으로 알려져 있다. 또한 갑상선 시원 세포 분화 전, 어류의 알과 자어는 모체기원의 thyroid hormone을 다량으로 보유하고 있으며[4,23,26,28,31,43], 난황내 보유 thyroid hormone 수준은 어미의 모체 내 혈장 호르몬 수준에 관련되어 있다[1,3,22,42]. 또한 알 또는 부화 자어에 대한 직접적인 thyroid hormone 처리는 초기 배 발달, 성장률, 생존을 및 난황 흡수율을 증대시키는 것으로 알려져 있다[2,22,36,37,39]. 하지만, 어류의 초기 발달에 있어 thyroid hormone 효과가 모두 동일하게 나타나는 것은 아니며, 오히려 초기 발달과정 중 성장과 생존에 악영향을 미칠 수도 있어 주의가 요구된다[20]. 그러나 비록 이들의 결과가 상이하더라도, thyroid hormone은 어류의 초기 발생 및 성장에 깊이 관여하며, 이러한 작용은 발생 개체의 기초 대사율을 증진에 의한 것으로 본다[8,27,29]. 또한 최근에는 어류의 T_3 -receptor gene 발현 연구를 통해, 배체의 갑상선 세포조직은 자체적으로 내인성 THs를 최초로 생성·분비하기 전에 출현한다는 사실이 밝혀져 [14,47,32], T_3 -receptor와 난황 내 thyroid hormone이 어류 발달에 있어 중요한 역할을 할 것으로 추정하고 있다.

본 연구 결과, 감성돔의 수정란 발생에 있어 T_3 처리는 발생중인 배체의 난황 흡수속도를 촉진시키는 것으로 나타났다지만, rabbitfish, *Siganus guttatus*를 이용한 Ayson and Lam[1]의 연구 결과와 같이 부화를 촉진시킨다는 증거는 찾아 볼 수 없고, 오히려 고농도에서 부화율을 감소시키는 것으로 나타났다. 그러나 Dales and Hoar[8]와 Lam et al.[30]은 외인성 thyroid hormone 처리가 알의 부화 과정에 영향을 미치는 것으로 보고한 바 있어, hormone의 종류와 중간 차이에 의해 다른 결과가 생성될 수 있는 여지를 남겨두고 있다. 본 연구 결과, 수정란의 부화촉진에 있어 외인성 T_3 의 분명한 효과는 찾아 볼 수 없었고, 오히려 부화율을 감소시키는 것으로 나타나, 수정란에 대한 외인

성 T₃ 처리 부작용에 대한 주의가 요구되고 있다. 이러한 부작용의 원인을 추정하자면, 외인성 T₃의 과도한 대사 촉진에 의한 배발생 중인 수정란의 항상성이 붕괴되어 나타날 수 있을 것으로 사료되나, 구체적 증거는 제시할 수 없다. 또한 자가 호르몬을 생성 전 단계인, 부화 전 배체가 이미 T₃-receptor를 세포내에 보유하면서 어미로부터 받은 호르몬을 사용하고 있다면, 이것은 receptor의 수용능력을 벗어난 호르몬의 공급이 배체 단계에서는 외인성 호르몬의 역기능 현상도 유도하는 것으로 볼 수 있어, 이에 대한 보다 깊이 있는 연구가 차후에 이루어져야 할 것으로 생각된다.

한편 이러한 수정란에 대한 효과에 반해, 감성돔 부화자어의 발달 과정 동안 T₃는 난황 및 유구의 흡수를 직접적으로 촉진시키며, 소화관과 근육의 분화 및 대사활성에 영향을 미쳐, 자어의 성장을 가속화시키는 것으로 보인다. 특히 이러한 결과는 thyroid hormone이 자어의 중추신경계 형성, 부레 발생 촉진[11], 부레 팽창 증진[5] 및 수영능력 증진[21]에 의한 먹이 포획능력이 향상에 의한 것, 또는 직접적으로 식욕 촉진[45] 및 소화계 발달[48,39], 영양원 흡수와 전환효율 증대[18,9] 등에 의한 것으로 추정해 볼 수 있다. 그러나 외인성 thyroid hormone 처리는 호르몬의 인위적 공급에 따른 자치어의 성장 지연 또는 비정상적인 발육 등의 부작용으로 나타날 수도 있다. 특히 초기 발생과정 중 thyroid hormone 공급에 따른 틸라피아 (*Sarotherodon niloticus*)의 lordosis 및 scoliosis [36]와 연어의 exophthalmia [8,19] 등이 발달 과정 중의 thyroid hormone의 역효과로서, 주입된 외인성 thyroid hormone의 대사 과정이 중, 영양상태, 호르몬 처리 용량, 투여경로, 수온, 염분 등의 환경적 요인 등의 차이에 의해 영향을 받을 수 있기 때문에 각별한 주의가 요구되고 있다 [10,33].

이상과 같이 감성돔 수정란과 부화자어를 대상으로 한 연구 결과, 인위적 T₃ 침지 처리는 감성돔, *A. schlegeli*의 수정란의 발생 및 부화에 있어 긍정적인 효과를 찾아 볼 수 없었지만, 부화 후 전기자어의 대사활성 및 발달을 촉진시키는 것으로 확인되어, 감성돔의 대량 종묘생산시 T₃ 침지처리법에 대한 가능성을 열어 주었다. 하지만 대량 사육 시설에서 호르몬 침지처리에 대한 경제성에 의문이 여전히 남아 있기에, 건강종묘 생산을 위한 T₃ 이용 기술

이 실용화되기 위해서는 다양한 사육조건 하에서 T₃ 농도 및 투여방법에 따른 효과 검토가 진행되어야 할 것으로 본다.

참고 문헌

1. 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.
2. 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.
3. Brown, C. L. and H. A. Bern. 1989. Hormones in early development, with special reference to teleost fishes. pp. 289-306. In Scanes, C. S. and M. P. Schreibman (eds.), *Hormones in Development, Maturation and Senescence of Neuroendocrine Systems*. Academic Press Inc., New York.
4. 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. Symp. Ser.* **2**, 144-150.
5. 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.
6. 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.
7. Chang, Y. J. and D. Y. Kang. 1998. Maternal injection of 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T₃) cause changes of thyroid hormone level in plasma, egg and yolk-sac larvae in female rockfish (*Sebastes schlegeli*). *J. Korean Fish. Soc.* **31**, 721-726 (in Korean).
8. 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.
9. Degani, G. and M. L. Gallagher. 1986. The influence of 3,5,3'-triiodo-L-thyronine on the growth survival and body composition of slow-growing development elvers (*Anguilla rostrata* L.). *Comp. Biochem. Physiol.*

- 84A, 7-11.
10. Donaldson, E. M., U. H. M. Fagerlund, D. A. Higgs and J. R. McBride. 1979. Hormonal enhancement of growth in fish, pp. 455-497, *In* Hoar, W. S., D. J. Randall and J. R. Brett (eds.), *Fish physiology*, Vol. 8, Academic Press Inc., New York.
 11. Doroshev, S. I., J. W. Cornacchia, and K. Hogan. 1981. Initial swimbladder inflation in the larvae of physoclistous fishes and its importance for larval culture. *Rapp. P. -v. Reun. Cons. Int. Explor. Mar.* **178**, 495-500.
 12. Eales, J. G. 1979. Thyroid function in cyclostomes and fishes, pp. 341-346, *In* Barrington, E. J. W. (ed.), *Hormone and Evolution*, Vol. 1, Academic Press Inc., New York.
 13. Eales, J. G., D. L. MacLachy and R. M. Sweeting. 1993. Thyroid hormone deiodinase systems in salmonid and their involvement in the regulation of thyroidal status. *Fish Physiol. Biochem.* **11**, 313-321.
 14. Essner, J. J., J. J. Breuer, R. D. Essner, S. C. Fahrenkrug and P. B. Hackett Jr. 1997. The zebrafish thyroid hormone receptor 1 is expressed during early embryogenesis and can function in transcriptional repression. *Differentiation* **62**, 107-177.
 15. Finsson, K. W., J. M. McLeese and J. G. Eales. 1999. Deiodination and deconjugation of thyroid hormone conjugates and type I deiodination in liver of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Gen. Comp. Endocrinol.* **115**, 387-397.
 16. Galton, V. A. 1988. The role of thyroid hormone in amphibian development. *Am. Zool.* **28**, 309-318.
 17. 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.
 18. Higgs, D. A., U. H. M. Fagerlund, J. R. McBride, H. M. Dye and E. M. Donaldson. 1977. Influence of combinations of bovine growth hormone, 17 α -methyltestosterone and L-thyroxine on growth of yearling coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Can. J. Zool.* **55**, 1048-1056.
 19. Honma, Y. and S. Murakawa. 1955. Effect of thyroxine on the development of the chum salmon larvae. *Japan J. Ichthyol.* **4**, 83-93.
 20. Huang, L., J. L. Specker and D. A. Bengston. 1996. Effect of triiodothyronine on the growth and survival of larval striped bass (*Morone saxatilis*). *Fish. Physiol. Biochem.* **15**, 57-64.
 21. Hunter, J. R. 1972. Swimming and feeding behavior of larval anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish. Bull. U.S.* **70**, 821-838.
 22. 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).
 23. Kang, D. Y., Y. J. Chang and E. Y. Chung. 2001. Changes in thyroid hormone concentration and differentiation of thyroid gland during early development of rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Dev. Reprod.* **5**, 39-45 (in Korean).
 24. 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**, 975.
 25. 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.
 26. Kwon, J. Y., Y. J. Chang, Y. C. Sohn and K. Aida. 1999. Plasma and ovarian thyroxine levels in relation to sexual maturation and gestation in female, *Sebastes inermis*. *J. Fish Biol.* **54**, 370-379.
 27. Lam, T. J. 1980. Thyroxine enhances larval development and survival in *Sarotherodon (Tilapia) mossambicus* Rupell. *Aquaculture* **21**, 287-291.
 28. Lam, T. J. 1994. Hormones and egg/larval quality in fish. *J. World Aquacul. Soc.* **25**, 2-12.
 29. 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.
 30. Lam, T. J., J. V. Juario and J. Banno. 1985. Effect of thyroxine on growth and development in post-yolk-sac larvae of milkfish, *Chanos chanos*. *Aquaculture* **46**, 179-184.
 31. Leatherland, J. F., L. Lin, N. E. Down and E. M. Donaldson. 1989. Thyroid hormone content of eggs and early developmental stages of goitred coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) from the Great Lakes of North America, and a comparison with a stock from British Columbia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **46**, 2146-2152.

32. Llewellyn, L., M. A. Nowell, V. P. Ramsurn, T. Wigham, G. E. Sweeney, B. Kristjánsson and O. Halldórsson. 1999. Molecular cloning and developmental expression of the halibut thyroid hormone receptor. *J. Fish Biol. (Suppl A)* **55**, 148-155.
33. Matty, A. J. and K. P. Lone. 1985. The hormonal control of metabolism and feeding, pp. 185-209, *In* Tytler, P. and P. Calow (eds.), *Fish Energetics*, London, Croom Helm.
34. Miwa, S. and Y. Inui. 1987. Effects of various doses of thyroxine and triiodothyronine on the metamorphosis of flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Gen. Comp. Endocrinol.* **67**, 356-363.
35. Miwa, S., M. Tagawa, Y. Inui and T. Hirano. 1988. Thyroxine surge in metamorphosing flounder larvae. *Gen. Comp. Endocrinol.* **70**, 158-163.
36. Nacario, J. F. 1983. The effect of thyroxine on the larvae and fry of *Sarotherodon niloticus* L. (*Tilapia nilotica*). *Aquaculture* **34**, 73-83.
37. 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.
38. 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.
39. Specker, J. L. 1988. Preadaptive role of thyroid hormones in larval and juvenile salmon: growth, the gut, and evolutionary considerations. *Am. Zool.* **28**, 337-349.
40. 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.
41. 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.
42. Tagawa, M. and T. Hirano. 1991. Effect of thyroid hormone deficiency in egg on early development of the medaka, *Oryzias latipes*. *J. Exp. Zool.* **257**, 360-366.
43. 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.
44. Tanaka, M., R. Kimura, M. Tagawa and T. Hirano. 1991. A thyroxine surge during development of black sea bream larvae and its ecological implication in inshore migration. *Nippon Suisan Gakkaishi* **57**, 1827-1832.
45. Yakovleva, I. V. and N. A. Yefimova. 1979. Comparative determination of thyrotropic hormone in the pituitary of *Acipenser guldenstadti* larvae and fingerlings. *J. Ichthyol* **18**, 807-815.
46. Yamano, K., M. Tagawa, E. G. de Jesus, T. Hirano, S. Miwa and Y. Inui. 1991. Changes in whole body concentrations of thyroid hormones and cortisol in metamorphosing conger eel. *J. Comp. Physiol. B* **161**, 371-375.
47. Yamano, K. and S. Miwa. 1998. Differential gene expression of thyroid hormone receptor and in fish development. *Gen. Comp. Endocrinol.* **109**, 75-85.
48. Yamazaki, F. 1976. Application of hormones in fish culture. *J. Fish. Res. Bd. Can.* **33**, 948-958.

(Received November 28, 2002; Accepted February 10, 2003)