

Effects of Water Temperature and Estradiol-17 β on the Sex Ratio and Growth of the Japanese Eel, *Anguilla japonica*

Dae-Jung Kim^{1*}, Nam-Sil Lee¹, Shin-Kown Kim¹, Bae-Ik Lee¹, Ki-Baik Seong² and Kyung-Kil Kim¹

¹New Strategy Research Center, National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI), Busan 619-705, Korea

²Inland Aquaculture Research Center, NFRDI, Changwon 645-806, Korea

Received October 28, 2013 / Revised November 12, 2013 / Accepted November 14, 2013

This study investigated the effects that water temperature and the administration of estradiol-17 β (E2) had on the sex ratio and growth of the Japanese eel, *Anguilla japonica*. Glass eels (total length = 6.5 cm) were differentiated into an E2 group and an E2-free group and then they were reared for about four months at three water temperature levels of 20°C, 24°C, and 28°C. The results showed that the young eels survived normally at the rearing water temperature of $\geq 24^\circ\text{C}$, and grew to a mean size of 20 cm (total length). In the E2-free group, temperature was not found to increase the sex ratio (feminizing rates); however, the sex ratio of the E2-administrated group was found to be a little higher at a high temperature (28°C). The growth of the E2 group was lower than the growth of the E2-free group at 24°C and the E2 concentration levels in the plasma at 24°C were found to be significant after the end of the E2 administration period (178 days). Therefore, we thought that long-term administration of E2 must be considered to be the reason for growth decline in spite of the prominent sex ratio effect. Our results indicate that temperature was not related to an increase in the feminizing rate (sex ratio) in the Japanese eel, *Anguilla japonica*, and other environmental factors (rearing density, salinity, etc.) that have the possibility of inducing ovarian differentiation must be investigated.

Key words : *Anguilla japonica*, estradiol-17 β , feminization, Japanese eel, sex ratio, temperature

서 론

뱀장어과(Anguillidae) 어종은 태평양 동쪽, 대서양 남부 및 극지를 제외한 온대 지역과 열대 지역에 걸쳐 16종 3아종이 분포하며, 담수역에서 성장하고 산란을 위해 수백에서 수천 Km 떨어져 있는 대양의 각 산란장으로 이동하는 강하성(Catadromous) 어류이다[21]. 그 중 우리나라에 서식하는 종은 극동산 뱀장어, *Anguilla japonica*와 무태장어, *A. marmorata* 2종이며, 우리나라를 비롯한 일본, 중국, 대만 등의 주요 양식 대상 종은 극동산 뱀장어이다[14].

뱀장어 양식은 100% 자연산 실뱀장어 어획에 의존하고 있으며, 최근 동아시아 4개국의 극동산 실뱀장어는 2006년 160톤(국내 어획량 15톤)의 최고 어획량을 기점으로 점점 감소하여 2013년에는 15톤(국내 어획량 1톤)으로 급격히 감소하였다[6]. 이러한 이유로 세계 각국에서는 자국 뱀장어의 자원 증진을 위한 인공종묘생산 연구가 1960년대부터 시작되어, 2001년 일본은 인공 실뱀장어 생산에 세계 최초로 성공하였으며[29,

30]. 국내에서도 2012년 세계 2번째로 성공하였다[13, 15]. 그러나 세계적으로 상업 목적의 인공 실뱀장어 양산 체계는 구축되어 있지 않아 동아시아 4개국의 뱀장어 양식 업계에서는 타종(유럽산 *A. anguilla*, 북미산 *A. rostrata*, *A. marmorata*, 동남아산 *A. bicolor*, 아프리카산 *A. mossambica*) 실뱀장어 등이 입식되어 양식되고 있으나, 열대역에 서식하는 실뱀장어 초기 생존율의 감소와[20] 자국 뱀장어 자원 보호 및 수출 규제[6, 25] 등으로 뱀장어 양식 산업에 어려움을 겪고 있는 실정이다.

한편 뱀장어 인공종묘의 대량생산 기술력을 확보하기 위해 우량 암컷 친어를 안정적으로 확보하는 것이 필요하지만 양식산 뱀장어의 대부분이 수컷으로 보고되어 있다[4, 5, 14]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 성분화 이전의 개체에 estradiol-17 β (E2) 경구투여로 자성화 유도된 개체를 암컷 친어로 이용하고 있으나[4, 14, 28], 난질 저하 및 염색체 이상[19, 24] 등으로 안정적인 양질 수정란을 대량 확보에 어려움이 있다. 이처럼 양식 뱀장어의 치어로부터 높은 비율의 암컷생산을 유도하기 위한 방법에 관한 정보 부족은 물론 실험적인 연구도 미비하여, 본 연구에서는 환경적 요인 중 하나인 사육 수온 영향에 따른 성비 조성을 조사하여 안정적인 암컷 친어 확보 방법을 연구하고자 하였다.

재료 및 방법

시험어

극동산 뱀장어, *Anguilla japonica*, 치어인 실뱀장어(평균체

*Corresponding author

Tel : +82-51-720-2185, Fax : +82-51-720-2189

E-mail : djkim4128@korea.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

중: 0.14±0.06 g, 평균전장: 5.7±0.9 cm) 3,000마리를 4월 말경 목포 현지 실뱀장어 채포 어민에게서 구입하였다. 실뱀장어는 서서히 담수로 순치 시킨 후, 24℃에서 10일간 입불임 사료(키토아미노, KOFEC사, 서울, 한국)를 1일 2회, 체중의 8%씩 공급하면서 유수식으로 사육하였다. 사육 수조에는 충분한 산소를 공급하였고, 수조 상단에 검정색 차광막을 설치하여 안정을 취하였다.

수은 및 Estradiol-17β (E2) 경구투여에 따른 성장 및 성비 조사

일주일간 입불임 단계가 끝난 실뱀장어(평균체중: 0.17±0.06 g, 평균전장: 6.5±0.8 cm)를 1톤 FRP수조에 500마리씩 6개 실험구로 분산 수용하였다. 실험구의 온도를 20℃, 24℃ 및 28℃로 설정하여 냉온수 조절이 가능한 히터펌프를 설치하여 유수식으로 사육하였고, 경구투여용 배합사료(일청사료, 도쿄, 일본)는 Kim 등[14] 방법에 따라 25 mg/kg diet 농도의 estradiol-17β (E2; Sigma-Aldrich Co., LLC, USA) 첨가 분말사료와 E2-free 분말사료를 각각 제조하여 실험구에 따라 1일 2회, 체중의 4~6%씩 약 4개월(127일) 간 순차적으로 공급하였고, 그 이후 178일까지는 일반 치만 분말사료(수협사료, 의령, 한국)를 전체 실험구에 공급하였다.

각 실험구의 성장을 조사는 실험개시(initial; in) 및 실험개시 후 34, 68, 98, 127 그리고 178일째 무작위로 30마리씩 20 ppm 농도의 2-phenoxyethanol (Sigma, USA)으로 마취 후 전장(Total Length; TL, cm)와 체중(Body Weight; BW, g)을 측정하였다.

각 실험구의 성비 조사는 E2 첨가사료 공급종료 시기인 약 4개월(127일) 제, 생식소 판별 및 발달 정도를 분석하기 위해 Kim 등[14] 방법에 따라 25~30마리씩 생식소를 절취하여 Bouin's액에 고정한 후 상법에 따라 파라핀 조직 절편 제작 및 Hematoxylin-Eosin (H&E) 염색 후 광학 현미경으로 판별하였다[1, 14].

혈중 E2 농도 측정

사료 공급을 개시한지 68일과 127일째에, 그리고 E2 첨가사료 공급을 종료하고 일반 분말사료로 약 2개월 공급하여 사육한 178일째에 각 실험구에서 10마리씩 상기 방법대로 마취하여 1 ml 주사기로 혈액을 채취한 후 4℃, 6,500×g 15분간 원심하여 상층액을 혈중 E2 분석 전까지 -50℃ 냉동고에 보관하였다. Kim 등[12] 방법에 따라 스테로이드 호르몬 추출 및 혈중 E2 농도를 방사선면역측정법(Radioimmunoassay; RIA)으로 측정하였다.

통계처리

통계처리는 분산 분석 후, Duncan's new multiple range test 혹은 t-test에 의해서 유의성 검정을 실시하였다(p<0.05).

결 과

수은 및 E2 경구투여에 따른 성장률 조사

사육 수온 변화 및 E2 경구투여에 따른 성장률 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 사육 수온 20℃ 실험구의 E2-free 및 E2 처리구에 있어서 사육 실험 기간 중 유의한 성장률 차이를 보이지 않았으며, 특히 다른 사육수온 실험구보다 성장률은 두드러지게 낮았다. 사육 수온 24℃ 실험구의 E2-free 및 E2 처리구에서는 실험 기간 중 유의한 성장률 차이를 보이지 않았으나, 실험 종결 후 178일째에는 E2-free 실험구(평균전장 34.1±6.5 cm, 평균체중 28.2±0.17 g)가 E2 처리구(평균전장 25.2±4.2 cm, 평균체중 14.3±0.15 g)보다 성장률이 유의하게 증가하였다. 한편 사육 수온 28℃ 실험구의 E2-free 및 E2 처리구에서는 실험 기간 및 종결 후 성장률에 유의한 차이를 보이지 않았다.

수은 및 E2 경구투여에 따른 생식소 발달과 성비 조사

사육 수온 변화 및 E2 경구투여에 따른 성비 조사 결과를 Table 1에 나타내었다. 사육 수온 20℃ 실험구 중 암컷 비율은 E2-free의 경우 16.7%, E2-처리구의 경우 30%였고 수컷 비율

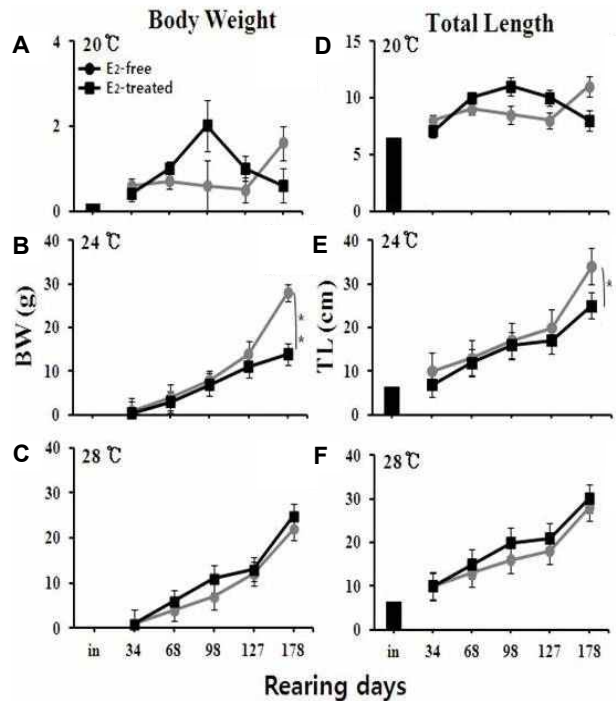


Fig. 1. Changes of body weight (BW, A~C) and total length (TL, D~F) of E2-free and estradiol-17β (E2) treated eels in various rearing water temperature. A: Change of body weight at 20℃, B: Change of body weight at 24℃, C: Change of body weight at 28℃, D: Change of total length at 20℃, E: Change of total length at 24℃, F: Change of total length at 28℃. Data are expressed as the mean ± SEM (n=30). * p<0.05, ** p<0.01

Table 1. Sex distribution in gonads of E2-free and E2-treated eels in various rearing water temperature

Rearing water temperature	Group	Sex ratio (%)*			Survival rate (%)*
		Female	Male	Unidentified	
20℃	E2-free	16.7	40	43.3	20
	E2-treated	30	20	50	15
24℃	E2-free	13.3	63.3	23.3	88
	E2-treated	90	10	-	81
28℃	E2-free	6.7	80	13.3	80
	E2-treated	93.3	6.7	-	72

* Sex ratio and survival rate were determined at the end of E2 treatment during 4 months (127 days). Data are expressed as the mean±SEM (n=25~30).

은 각각 40%, 20% 였으나, 두 실험구 모두 미분화 혹은 확인 불가능한 상태의 생식소가 각각 43.3%, 50% 였다. 또한 실험 기간 중 생존율은 각각 20%, 15%로 현저히 낮았다. 사육 수온 24℃ 실험구의 암컷 비율은 E2-free의 경우 13.3%, E2 처리구의 경우 90% 였고, 수컷 비율은 각각 63.3%, 10% 였다. 한편 E2-free실험구에서만 미분화 상태의 생식소가 23.3% 였다. 또한 실험 기간 중 생존율은 각각 88%, 81%로 다른 사육 수온 실험구보다 높았다. 사육 수온 28℃ 실험구의 암컷 비율은 E2-free의 경우 6.7%, E2 처리구의 경우 93.3% 였고 수컷 비율은 각각 80%, 6.7% 였다. 한편 E2-free실험구만 미분화 상태의 생식소가 13.3% 였다. 또한 실험 기간 중 생존율은 각각 80%, 72% 였다.

사육 수온 변화 및 E2 경구투여에 따른 생식소 발달 조사를 위한 조직 관찰 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 입붙임 단계의 실뱀장어 및 실험 종결 후, 사육 수온 20℃의 양 실험구의 미확인 개체의 대부분은 미분화 원시세포 단계(Undifferentiated gonad) (Fig. 2A)였다. 그러나 사육 수온 24℃와 28℃ 실험구에

있어서 약 4 개월(127일) 간 사육 실험 후 E2-free실험구의 암컷은 80% 정도가 염색질 핵소체 단계의 난모세포(Oocyte of chromatin nucleolus stage, Fig. 2B)였으며, 20% 정도가 주변인기의 난모세포(Fig. 2C)들로 구성되어 있었다. 한편 사육 수온 24℃와 28℃ 실험구에 있어서 약 4 개월(127일) 간 사육 실험 종료 때 E2 처리구의 암컷은 40% 정도가 염색질 핵소체 단계의 난모세포(Fig. 2B) 였으며, 60% 정도가 주변인기의 난모세포(Fig. 2C)들로 구성되어 있었다. 그러나 각 수온별 실험구의 E2-free 및 E2 처리구의 수컷은 정원세포(Spermatogonia, Fig. 2D)로 구성되어 있었다.

혈중 E2농도 조사

사육 수온 변화 및 E2 경구투여에 따른 혈중 E2 농도 변화 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 모든 사육 수온 실험구의 혈액 채취 시기인 68일, 127일 및 178일째의 모든 E2-free실험구의 혈중 E2 농도는 30 pg/ml 이하로 측정 불가능한 상태였다. 그러나 사육 수온 20℃의 E2 처리구는 68일째 0.3±0.1 ng/ml 였으며, 127일째에는 0.5±0.18 ng/ml로 증가하였다가 178일 0.2±0.08 ng/ml 로 감소하였다. 사육 수온 24℃의 E2-처리구는 68일째 3.2±0.2 ng/ml 였으며, 127일째에는 4.9±0.9 ng/ml 로 증가하였다가 178일 1.6±0.2 ng/ml로 감소하였다. 사육 수온 28℃의 E2-처리구는 68일째 4.3±1.9 ng/ml 였으며, 127일째에는 7.1±2.1 ng/ml로 증가하였다가 178일째에는 0.45±0.6 ng/ml으로 급격히 감소하였다.

고 찰

극동산 뱀장어, *Anguilla japonica*의 실뱀장어 단계(평균 전장: 6.5 cm)에서 어린 뱀장어(치만) 단계까지 다양한 수온별 (20, 24 및 28℃) 조건에서 4개월간 사육하여 성비를 조사한 결과 본 연구에서 설정한 수온 영역에서는 암컷 비율의 증가 효과는 없었으나, E2 경구투여에 의한 자성화 유도 효과는 증가하였다. 또한 수온 24℃ 실험구에서 E2 경구투여에 의한 성장률 효과는 오히려 억제되었다.

어류의 성결정은 기본적으로는 유전적으로 결정되지만(유

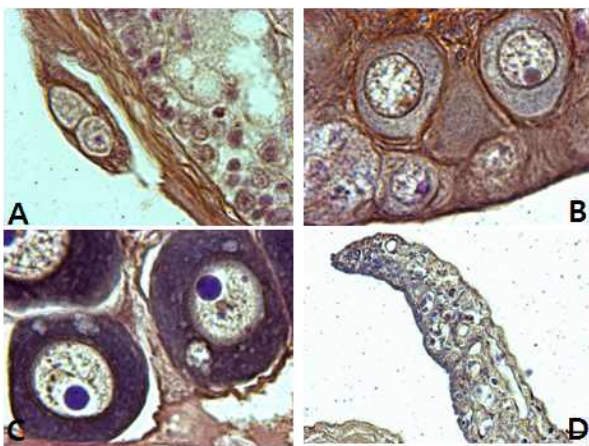


Fig. 2. Photomicrographs of histological section of gonads in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. A: Undifferentiated gonad of glass eel (X800), B: Chromatin nucleolus stage (X800), C: Perinucleous stage (X800), D: testis in the eel (X400).

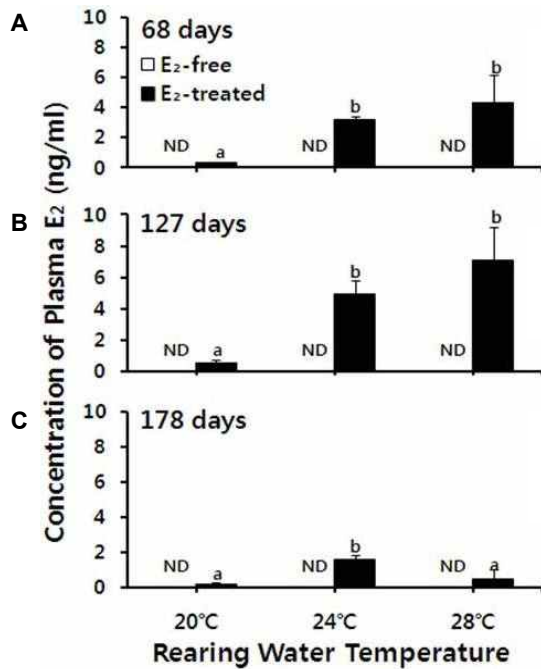


Fig. 3. Changes in plasma estradiol-17 β (E2) levels in a E2-free and E2-treated Japanese eel during experiment periods (A and B) and after experiment periods (C) at 20, 24 and 28°C. A significant difference was observed between columns indicated by different letters (a: has no significant difference, b: has significant difference). A: 68 days, B: 127 days, C: 178 days. Data are expressed as the mean \pm SEM (n=10).

전적 성결정) 대부분의 어종에서 자어기(생식선의 형태적 성분화 이전)의 환경 수온이 성결정에 영향을 미친다고 알려져 있다[7, 23]. 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 경우 생식선의 형태적 성분화가 나타나는 12~30 mm 시기에 25~27.5°C에서 사육하면 유전적 암컷이 생리적 수컷으로 발현한다고 보고하고 있으며[17, 32], 차넬메기, *Ictalus punctatus*는 고수온 사육에서 암컷 비율이 유의적으로 증가한다고 보고하고 있다[7]. 또한 사육 수온 차이에 의한 성비 연구 결과를 보면 조피볼락, *Sebastes schlegelii*의 경우 20~22°C 사육 수온 보다 24°C 수온에서 암컷 비율이 높다는 보고[22], 이와는 반대로 남미에 서식하는 영명, pejerrey, *Odontesthes argentinensis*와 guppy, *Poecilia reticulata*에서는 낮은 사육 수온 일수록 암컷 비율이 높게 나타난다고 보고하였다[10, 26]. 따라서 온대역과 같이 뚜렷한 계절을 거치는 지역에 서식하는 경골어류의 경우 1년 중 특정 시기에 산란하는 생식년 주기를 가질 뿐만 아니라 특정 사육 수온이 성결정의 중요한 인자라는 것을 알 수 있다.

극동산 뱀장어에 있어서 사육 수온에 의한 성분화 유도에 관한 연구 결과는 없지만, 자연에서 전장 20 cm 전후의 시기에 생식선의 형태학적 분화가 시작되어, 암·수컷 특유의 생식소 구조를 나타내기 시작한다고 보고하고 있으나[1, 4], 성결정 유전자에 의해 성이 명료하게 결정되는 것이 아니라 환경적

요인(수온, 밀도, 염분, 광주기 등) 혹은 사회적 요인에 의해 성이 편향되어 나타난다고 보고하였다[2, 18]. 또한 유럽산 뱀장어, *A. anguilla*의 경우 따뜻한 수온에서 사육하면 수컷으로 유도된다는 결과[3]와 이와 반대로 수온을 점점 증가시키에 따라 암컷 비율이 유의적으로 증가한다는 보고[9]와 같이 동일 어종에 있어서도 서로 상반되는 연구 결과를 보고하고 있어 유럽산 뱀장어의 경우 수온에 의한 암컷으로의 성분화 영향은 아직 논쟁이 계속되고 있다. 한편 본 연구 결과에서 극동산 뱀장어의 경우 생식선의 형태적 성분화 이전 단계인 실뱀장어를 다양한 사육 수온에서 성분화가 일어나는 전장 20 cm 전후까지 사육 시 수온에 의한 암컷 비율 증가 효과는 없었다. 따라서 극동산 뱀장어에 있어서 수온에 의한 암컷 성분화 유도 효과는 관찰할 수 없었으며, 대서양 뱀장어(유럽산 뱀장어와 북미산 뱀장어, *A. rostrata*)에서는 사육 밀도 등이 성비에 영향 미친다는 연구[3, 18]를 토대로 극동산 뱀장어에 있어서 수온 이외의 다른 환경 인자(사육 밀도, 염분 등)에 의한 효과적인 암컷 유도 연구가 수행되어야 할 것이다.

성호르몬 처리에 의한 유전적 암컷의 수컷화 유도 혹은 유전적 수컷의 암컷화 유도에 관한 연구는 다양한 어종에서 보고되어 있지만, 호르몬 처리 시기는 생식소의 형태학적 성분화 이전인 자어기에 한정되며, 정소 및 난소로 분화 후에는 호르몬 처리에 의한 성제어는 불가능하다고 보고되었다[7, 23]. 앞선 우리 연구결과에서도 전장 13 cm의 어린 뱀장어 단계에 estradiol-17 β (E2) 경구 투여에 의한 자성화 유도율 보다 입붙임 단계가 끝난 전장 6 cm의 실뱀장어 단계에서 자성화 유도율이 유의적으로 높았으며[14], 본 연구에서도 입붙임 단계가 끝난 실뱀장어 단계에 E2 경구 투여에 의한 자성화 유도율은 유사하였으나, 수온 24 및 28°C 사육 실험구에 있어서 E2 경구투여에 의한 자성화 유도율은 90%에서 93.3%로 28°C에서 조금 높게 나타났고 생존율에는 81%에서 72%로 28°C에서 소폭 감소하는 것으로 나타났다. 20°C 실험구에서 자성화 유도율과 생존율이 낮게 나타난 것은 낮은 사육 수온에 의한 생리적 이상으로 추측하였으나, 수온 변화에 따른 실뱀장어의 이석 성장을 조사한 보고에서는 5~25°C 사이의 거의 모든 실험온도에서 100%에 가까운 생존율을 나타내었던 것을 보면 [8] 20°C 실험구의 낮은 생존율에는 다른 요인이 관여하였을 가능성이 높을 것으로 추측된다. 또한 다른 수온 실험구에 비해 낮은 자성화율은 아마도 낮은 사육 수온에서 사료 섭취율이 낮았기 때문일 것으로 추측된다.

본 연구에서 수온 28°C 실험구의 E2-free와 E2 투여구 간의 성장률을 비교한 결과 실험 기간 중인 127일(약 4개월)과 실험 종결 후 동량의 E2-free의 일반 배합 사료로 공급하여 2개월 더 사육 후(178일)의 유의적인 성장률 차이는 없었다. 극동산 뱀장어에 관한 선행연구에서 수온 28°C의 사육 실험 기간 전후로 E2-free와 E2 투여 개체의 성장률의 유의적 차이는 없었다[14, 28]. 또한 타 어종 농어목(Centrachidae) 어류인 Bluegill

sunfish, *Leponis macrochirus*, 치어를 일반적인 사육 수온인 23°C에 2개월간 고농도 E2 (100 mg/kg diet) 처리에 의한 자성화 유도 효과는 100% 였지만 성장률은 대조구에 비해 유의적으로 낮았으며[31], 대서양 연어, *Salmo salar*, 치어의 경우에는 성호르몬 경구 투여에 의한 성장률은 대조구보다 낮았지만 유의적인 차이는 없다고 보고하였다[16].

본 연구 결과 극동산 뱀장어에 있어서 최적 수온 영역(28°C)보다 낮은 사육 수온(24°C) 조건에서 실험기간 중 E2 투여 개체와 E2-free 개체 간의 유의적인 성장률 차이는 없었지만, E2 급여 종결 50일 후인 178일째에는 E2 투여개체의 성장률은 유의적으로 낮았다. 또한 혈중 E2 농도는 실험기간 중인 127일(약 4개월)까지 E2-free 개체 보다 E2 투여 개체에서 유의적으로 높았다. 그러나 E2급여 종결 후인 178일째 20°C와 28°C 실험구에 있어서 E2 투여 개체의 혈중 E2 농도는 급격히 감소하였지만 24°C 실험구의 E2 투여 개체 혈중 E2 농도는 여전히 유의적으로 높았다. 극동산 뱀장어를 포함한 경골어류에 있어서 난소 내 스테로이드 생산(steroidogenesis)은 사육 수온에 의존하여 수온이 높을수록 스테로이드 대사 과정이 빨라진다고 보고하고 있고[11], 또한 님치, *Paralichthys olivaceus* 치어에서도 낮은 수온(20°C)에서 사육한 개체 보다 높은 수온(28°C)에서 사육한 개체의 체내 E2 농도가 유의적으로 낮다고 보고하였다[27]. 이러한 선행 연구 결과를 토대로 본 연구 결과에서도 수온 24°C 사육 개체 보다 고수온인 28°C 사육 개체의 혈중 E2 농도가 감소되었던 이유도 보다 높은 수온에서 스테로이드 대사 과정이 빨리 진행되어 감소 현상을 나타낸 것으로 추측되며, 반대로 수온 24°C 실험구에서 E2 투여 개체의 높은 혈중 E2 농도로 인해 오히려 성장률 감소를 유발하였다고 추측된다. 앞으로 극동산 뱀장어에 있어서 E2와 성장률에 관한 심도 있는 연구가 진행되어야 할 뿐만 아니라 사육 수온 이외에 사육 밀도, 염분 등의 환경요인에 의한 성분화 유도 효과에 관한 연구도 수행 되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국립수산물품질관리원(뱀장어 인공중요생산 기술 개발, RP-2013-AQ-207)의 지원에 의해 운영되었습니다.

References

- Adachi, S., Ijiri, S., Kazeto, Y. and Yamauchi, K. 2003. Oogenesis in the Japanese eel *Anguilla japonica*, pp. 301-329. In: Aida, K., Tsukamoto, K. and Yamauchi, K. (eds.), *Eel Biology*. Springer-Verlag: Tokyo, Japan.
- Andrew, J. H. D. and Donald, J. J. 2005. Sex determination in freshwater eels and management options for manipulation of sex. *Rev Fish Biol Fisher* **15**, 37-52.
- Beullens, K., Eding, E. H., Gilson, P., Ollevier, F., Komen, J. and Richter, C. J. J. 1997. Gonadal differentiation, intersexuality and sex ratios of European eel (*Anguilla anguilla* L.) maintained in captivity. *Aquaculture* **153**, 135-150.
- Chiba, H., Iwatsuki, K., Hayami, K. and Yamauchi, K. 1993. Effects of dietary estradiol-17 β on feminization, growth and body composition in the Japanese eel (*Anguilla japonica*). *Comp Biochem Physiol A Comp Physiol* **106**, 367-371.
- Colombo, G. and Grandi, G. 1990. Gonad sex differentiation of *Anguilla anguilla* by sex steroids. *Int Rev Hydrobiol* **76**, 763-773.
- Crook, V. and Nakamura, M. 2013. Assessing supply chain and market impacts of a CITES listing on *Anguilla* species. *TRAFFIC Bulletin* **25**, 24-30.
- Devlin, R. H. and Nagahama, Y. 2002. Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. *Aquaculture* **208**, 191-364.
- Fukuda, N., Kuroki, M., Shinoda, A., Yamada, Y., Okamura, A., Aoyama, J. and Tukamoto, K. 2009. Influence of water temperature and feeding regime on otholith growth in *Anguilla japonica* glass eels and elvers: does otholith growth cease at low temperatures?. *J Fish Biol* **74**, 1915-1933.
- Holmgren, K. 1996. Effect of water temperature and growth variation on the sex ratio of experimentally reared eels. *Ecol Freshwater Fish* **5**, 203-212.
- Karayücel, I., Ak, O. and Karayücel, S. 2006. Effect of temperature on sex ratio in guppy *Poecilia reticulata* (Peters 1860). *Aquaculture Res* **37**, 139-150.
- Kazeto, Y., Tosaka, R., Matsubara, H., Ijiri, S. and Adachi, S. 2011. Ovarian steroidogenesis and the role of sex steroid hormones on ovarian growth and maturation of the Japanese eel. *J Steroid Biochem Mol Biol* **127**, 149-154.
- Kim, D. J., Bae, J. Y. and Kim, E. O. 2007a. Changes in sex steroid hormones and ovarian development during artificial maturation of female eel, *Anguilla japonica*. *Integ Biosci* **11**, 117-124.
- Kim, D. J., Kang, E. J., Bae, J. Y., Park, M. W. and Kim, E. O. 2007b. Development of the eggs and pre-leptocephalus larvae by natural spawning of artificially-matured Japanese eel, *Anguilla japonica*. *J Aquaculture* **20**, 160-167.
- Kim, D. J., Lee, B. I., Kim, K. K., Kim, E. O., Son, M. H. and Seong, K. B. 2013a. Effect of Estradiol-17 β on the Feminization of Japanese Eel, *Anguilla japonica*. *J Life Sci* **23**, 998-1003.
- Kim, D. J., Lee, N. S., Lee, B. I., Kim, S. K. and Kim, K. K. 2013b. Development changes of head external structure and eye histological structure of artificially reared Japanese eel, *Anguilla japonica*, leptocephalus and glass eel. *J Life Sci* **23**, in press.
- Kim, M. L. and Sower, S. A. 1992. Effects of dietary testosterone on growth and sex ratio in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Fish Physiol Biochem* **9**, 513-517.
- Kitano, T., Takamune, K., Nagahama, Y. and Abe, S. I. 2001. Role of P450 aromatase in gonadal sex differentiation in Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Environ Sci* **8**, 1-11.
- Krueger, W. H. and Oliveira, K. 1999. Evidence for environmental sex determination in the American eel, *Anguilla*

- rostrata*. *Environ Biol Fish* **55**, 381-389.
19. Lokman, P. M. and Young, G. 2000. Induced spawning and early ontogeny of New Zealand fresh water eel (*Anguilla dieffenbachia* and *A. australis*). *New Zealand J Mar Freshwater Res* **34**, 135-145.
 20. Luo, M., Guan, R., Li, Z. and Jin, H. 2013. The effects of water temperature on the survival, feeding, and growth of the juveniles of *Anguilla marmorata* and *A. bicolor pacifica*. *Aquaculture* **400-401**, 61-64.
 21. Miller, M. J. 2003. The worldwide distribution of Anguillid leptocephali. pp. 157-168. In: Aida, K., Tsukamoto, K. and Yamauchi, K. (eds.), *Eel Biology*. Springer-Verlag: Tokyo, Japan.
 22. Omoto, N., Koya, Y., Chin, B., Yamashita, Y., Nakagawa, M. and Noda, T. 2010. Gonadal sex differentiation and effect of rearing temperature on sex ration in black rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Ichthyol Res* **57**, 133-138.
 23. Piferrer, F. 2001. Endocrine sex control strategies for the feminization of teleost fish. *Aquaculture* **197**, 229-281.
 24. Shin, D. H. 2004. Biochemical and histological studies on egg quality in the Japanese eel (*Anguilla japonica*). Ph. D. Thesis, Hokkaido University, Hakodate, Japan.
 25. Silfvergrip, A. M. C. 2009. CITES identification guide to the freshwater eels (Anguillidae). Report 5943. The Swedish Environmental Protection Agency.
 26. Strüssmann, C. A., Calsina Cota J. C., Phonlor, G., Higuchi, H. and Takashima, F. 1996. Temperature effects on sex differentiation of two South American atherinids, *Odontesthes argentinensis* and *Patagonina hatcheri*. *Environ Biol Fish* **47**, 143-154.
 27. Sun, P., You, F., Ma, D., Li, J. and Zhang, P. 2013. Sex steroid changes during temperature-induced gonadal differentiation in *Paralichthys olivaceus*. *J Appl Ichthyol* **29**, 886-890.
 28. Tachiki, H., Nakagawa, T., Tamura, K. and Hirose, K. 1997. Effects of oral administration of estradiol-17 β to young on gonadal sex and growth of Japanese eel *Anguilla japonica* (in Japanese). *Suisanzoshoku* **45**, 61-66.
 29. Tanaka, H., Kagawa, H. and Ohta, H. 2001. Production of leptocephali of Japanese eel, *Anguilla japonica* in captivity. *Aquaculture* **201**, 51-60.
 30. Tanaka, H., Kagawa, H., Ohta, H., Unuma, T. and Nomura, K. 2003. The first production of glass eel in captivity: fish reproductive physiology facilitates great progress in aquaculture. *Fish Physiol Biochem* **28**, 493-497.
 31. Wang, H. P., Zhao, C., Beres, B., Ottobre J., Wallat, G., Tiu, L., Rapp, D., O'Bryant, P. and Hong, Y. 2008. Effects of estradiol-17 β on survival, growth performance, sex reversal and gonadal structure of bluegill sunfish *Lepomis macrochirus*. *Aquaculture* **285**, 216-223.
 32. Yamanoto, E. 1995. Studies on sex-manipulation and production of cloned populations in hirame, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Sehlegel). *Aquaculture* **173**, 235-246.

초록 : 극동산 뱀장어, *Anguilla japonica*의 성비와 성장에 미치는 수온 및 estradiol-17 β 의 효과

김대중^{1*} · 이남실¹ · 김신권¹ · 이배익¹ · 성기백² · 김경길¹
(¹국립수산과학원 전략연구단, ²내수면양식연구센터)

본 연구에서는 양식산 극동산 뱀장어, *Anguilla japonica*, 에서 고비율로 암컷 친어를 확보할 목적으로 실험뱀장어 (평균 전장: 6.5 cm)를 estradiol-17 β (E2) 투여구와 일반사료(E2-free) 투여구로 나누어 사육수온 별(20, 24 및 28 $^{\circ}$ C) 조건에서 4개월간 사육하여 성비조사와 성장변화를 실시하였다. 조사한 결과 본 연구에서 설정한 수온 영역에서는 E2-free 실험구에서는 암컷 비율의 변화가 없었으나, E2 경구투여에 의한 자성화율은 높은 수온(28 $^{\circ}$ C)에서 소폭 증가하였다. 특히, 수온 24 $^{\circ}$ C 실험구에서 E2 경구투여 개체가 E2-free 개체보다 성장곡선이 낮게 나타났으며, 혈중 E2 농도는 E2 투여를 종결한 후(178일)에도 여전히 유의적으로 높게 존재하였다. 따라서 E2 투여에 의한 자성화 유도 효과는 높았지만, 장기간 투여시 성장저하에 영향을 미치는 것으로 보인다. 극동산 뱀장어에서 사육조건 중 수온에 의한 암컷으로의 성분화 효과는 확인 할 수 없었으며, 다른 환경인자(사육 밀도, 염분 등)의 관련성도 이후 검토하여야 할 것이다.